

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

Département de Biologie



THÈSE DE DOCTORAT

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Écologie Animale et Environnement

Option : Oléiculture-Oléotechnie

M^{me} KERBEL-AZZI Safia

Sujet

**Valorisation des grignons d'olives comme un moyen alternatif de lutte contre
deux insectes ravageurs des grains stockés, *Sitophilus oryzae* (Linnaeus)
(Coleoptera : Curculionidae) et *Rhyzopertha dominica* (Fabricius)
(Coleoptera : Bostrychidae)**

Devant le jury suivant :

Président	SADOUDI-ALI	Djamila	Professeur	UMM Tizi-Ouzou
	AHMED			
Rapporteur	KELLOUCHE	Abdallah	Professeur	UMM Tizi-Ouzou
Co-Rapporteur	KADI	Hocine	Professeur	UMM Tizi-Ouzou
Examineur	DOUZANE	Malika	MRA/INRAA	
Examineur	SOLTANI	Nouredine	Professeur	UBM Annaba
Examineur	CHAKALI	Gahdeb	Professeur	ENSA Alger

Soutenue le : 01/03/2022

Année universitaire : 2020 / 2021

Remerciements

En premier lieu, je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la volonté, la santé et le courage pour réaliser ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon directeur de thèse, le professeur Kellouche Abdellah de m'avoir accueillie au sein de son équipe, d'avoir dirigé ce travail de recherche avec beaucoup de rigueur. Sa grande disponibilité et ses nombreux conseils m'ont été d'un grand intérêt.

Mes vifs remerciements s'adressent à Mr Kadi H., professeur à l'université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, de m'avoir accueillie dans son laboratoire, je ne saurais pour vous remercier pour votre aide précieuse et vos précieux conseils.

J'adresse mes sincères remerciements à M^{me} Sadoudi-Ali Ahmed D., Professeur à l'université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour avoir accepté de présider le jury. Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.

Je remercie Mme Douzane M., maître de conférences A à l'INRA d'Alger, Mr Chakali G., Professeur à l'ENSA d'Alger, ainsi que Mr Soltani N., Professeur à l'UBM de Annaba, pour avoir accepté d'expertiser le document, comme membres de jury.

Je tiens à exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude au Professeur Fellag H., d'avoir réalisé l'analyse statistique des données.

Mes vifs remerciements s'adressent à Mme Douzane M., pour la réalisation d'une partie des analyses physico-chimiques.

Je souhaiterais remercier tous mes collègues pour leurs encouragements et leur soutien, en particulier Mme Hedjal-Chebheb M., Mme Medjkouh L., Mme Ait-Aider F., Mlle Tinkicht L, et Mlle Issaoune D.

Dédicaces

A mes très chers parents. Pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de la
réalisation de ce travail.

A mes très chères sœurs et mes chers frères.

A mon cher mari et à toute ma belle famille.

Liste des abréviations et acronymes

AGI : Acide Gras Insaturé

AGMI: Acide Gras Mono-insaturé

AGPI: Acide Gras Poly-insaturé

AGS : Acide Gras Saturé

CABI : Centre for Agriculture and Biosciences International

CCLS : Coopérative de Céréales et de Légumes Secs

CEE : Communauté Économique Européenne

CPG : Chromatographie en Phase Gazeuse

CO₂ : Dioxyde de carbone

COI : Conseil oléicole international

D₄²⁰ : Densité à 20 °C

DL₅₀ : Dose Létale médiane

E.N.S.A : École Nationale Supérieure Agronomique

EPPO : European and Mediterranean Plant Protection Organization

F1 : Individus de la première génération

FAO : Food and Agriculture Organisation

FAOSTAT : Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database

HGB : Huile de grignon brute

HGR : Huile de grignon raffinée

HOVE : Huile d'olive vierge extra

IM : Indice de maturité

IP : Indice de peroxyde

IR : Indice de réfraction

ITAFV : Institut technique de l'arboriculture fruitière et de la vigne

MARDF : Ministry of Agriculture and Rural Development and Fisheries

O.N.M : Office National Météorologique

P : Probabilité

PM : Poids moléculaire

Liste des abréviations et acronymes

S : Station

T_{eb} : Température d'ébullition

UICPA : Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée

USDA: United States Department of Agriculture

UV: Ultra-Violet

Liste des figures

Figure 1. Anatomie du grain de blé tendre	6
Figure 2. Œuf de <i>S. oryzae</i>	9
Figure 3. Larve de <i>S. oryzae</i>	9
Figure 4. Nymphe de <i>S. oryzae</i>	10
Figure 5. L'imago de <i>S. oryzae</i> vue ventrale et vue dorsale.....	10
Figure 6. Dégâts de <i>S. oryzae</i> sur du blé tendre	12
Figure 7. Œuf de <i>R. dominica</i>	13
Figure 8. Les larves de <i>R. dominica</i>	13
Figure 9. Nymphe de <i>R. dominica</i>	14
Figure 10. L'imago de <i>R. dominica</i> vue ventrale et vue dorsale.....	14
Figure 11. Dégâts de <i>R. dominica</i> sur du blé tendre.....	16
Figure 12. Adulte de <i>Lariophagus distinguendus</i> (a) <i>Theocolax. Elegans</i> (b).....	21
Figure 13. Flowsheet de la récupération de l'huile à partir du grignon d'olive.	31
Figure 14. Fluctuations des valeurs du taux de mortalité (a), nombre de descendants (b), perte de poids (c) et de taux de germination (d) en fonction du type de traitement, de la dose, du temps d'exposition (pour la mortalité), du substrat et de l'espèce d'insecte. Les boîtes à moustaches illustrent la médiane (barre médiane dans la boîte), les 25 e et 75 e centiles.....	38
Figure 15. Pourcentage de mortalité cumulée ($\% \pm ET$) des adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. oyzae</i> exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé dur traités avec les six huiles.....	39
Figure 16. Pourcentage de mortalité cumulée ($\% \pm SE$) des adultes de <i>R. dominica</i> et <i>S. oyzae</i> exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé tendre traités avec les six huiles	40
Figure 17. Effectif de descendants (nombre d'individus $\pm ET$) sur blé dur (A) et tendre (B) traités avec les six huiles chez <i>R. dominica</i> et <i>S. oryzae</i>	42
Figure 18. Pourcentage de perte en poids ($\% \pm ET$) des graines de blé dur (A) et tendre (B) traitées avec les six huiles et occasionnée par les deux insectes ravageurs	43
Figure 19. Taux de germination ($\% \pm ET$) des semences de blé dur (A) et tendre (B), traitées avec les six huiles et infestées par les deux insectes ravageurs	44
Figure 20. Localisation géographique des stations d'étude.	51

Liste des figures

- Figure 21.** Pourcentage de mortalité cumulée ($\% \pm \text{ET}$) des adultes de *R. dominica* et *S. oyzae* exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé dur traités avec quatre huiles d'olives récoltées en 2017, selon les doses. 50
- Figure 22.** Pourcentage de mortalité cumulée ($\% \pm \text{ET}$) des adultes de *R. dominica* et *S. oyzae* exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé tendre traités avec quatre huiles d'olives récoltées en 2017, selon les doses. 51
- Figure 23.** Pourcentage de mortalité cumulée ($\% \pm \text{ET}$) des adultes de *R. dominica* et *S. oyzae* exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé dur traités avec quatre huiles d'olives récoltées en 2018, selon les doses. 52
- Figure 24.** Pourcentage de mortalité cumulée ($\% \pm \text{ET}$) des adultes de *R. dominica* et *S. oyzae* exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé tendre traités avec quatre huiles d'olives récoltées en 2018, selon les doses. 53

Liste des tableaux

Tableau 1. Humidité (%) et teneur en matière grasse (% de l'échantillon sec) des échantillons de grignons d'olive.....	32
Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques de l'hexane	32
Tableau 3. Test de normalité d Anderson-Darling.....	35
Tableau 4. . Indices de qualité des huiles extraites (acidité libre, l'indice de peroxyde, absorptions spécifiques à 232 et 270 nm) et le profil en acide gras des huiles de grignon brutes et raffinée et de l'huile d'olive vierge-extra de la variété chemlal.....	36
Tableau 5. Toxicité par contact (DL ₅₀ médiane) des six huiles vis-à-vis des adultes de <i>S. oryzae</i> et de <i>R. dominica</i> infestant les graines de blé dur et de blé tendre, après 72 h d'exposition.....	41
Tableau 6. Conditions climatiques des zones de culture pendant les campagnes agricoles de 2016/2017 et 2017/2018.....	51
Tableau 7. Données relatives à l'indice de maturation des olives récoltées	52
Tableau 8. Test de normalité d Anderson-Darling.....	54
Tableau 9. Indices de qualité des huiles extraites des olives de la variété Chemlal récoltées dans 4 vergers et durant 2 saisons oléicoles consécutives.....	58
Tableau 10. Composition en acides gras des échantillons d'huile d'olive de la variété Chemlal	59
Tableau 11. Toxicité par contact (DL ₅₀ médiane) des huit huiles vis-à-vis des adultes de <i>S. oryzae</i> et de <i>R. dominica</i> infestant les graines de blé dur et de blé tendre après 72 h d'exposition.....	65
Tableau 12. Nombre moyen d'individus qui émergent (nombre d'individus / boîte $\pm$ ET) chez <i>S.oryzae</i> et <i>R.dominica</i> des grains de blé dur et du blé tendre traités avec les quatre huiles extraites des olives récoltées en 2017, selon la dose.....	66
Tableau 13. Nombre moyen d'individus qui émergent (nombre d'individus / boîte $\pm$ ET) chez <i>S.oryzae</i> et <i>R.dominica</i> des grains de blé dur et du blé tendre traités avec les huiles extraites des olives récoltées en 2018, selon la dose	67
Tableau 14. Taux moyen des pertes en poids ($\% \pm$ SE) des grains de blé dur et de blé tendre infestés par <i>S.oryzae</i> et <i>R.dominica</i> et traités avec quatre huiles extraites des olives récoltées en 2017, selon la dose	69

Liste des tableaux

Tableau 15. Taux moyen des pertes en poids ($\% \pm ET$) des grains de blé dur et de blé tendre infestés par *S.oryzae* et *R.dominica* et traités avec quatre huiles extraites des olives récoltées en 2018, selon la dose 70

Tableau 16. Taux de germination ($\% \pm ET$) des graines de blé dur et de blé tendre, traitées avec les quatre huiles extraites des olives récoltées en 2017, selon la dose de traitement..... 72

Tableau 17. Taux de germination ($\% \pm ET$) des graines de blé dur et de blé tendre traitées avec les quatre huiles extraites des olives récoltées en 2018, selon la dose de traitement..... 73

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I: Revue bibliographique

1. La Plante hôte : le blé	
1.1. Introduction	4
1.2. Origine et répartition géographique.....	4
1.3. Position systématique	5
1.4. Structure et composition du grain de blé.....	5
1.5. Production de blé dans le monde et en Algérie	6
2. Présentation des deux insectes étudiés	7
2.1. Introduction	7
2.2. <i>Sitophilus oryzae</i>	8
2.2.1. Position systématique	8
2.2.2. Répartition géographique	8
2.2.3. Description des différents stades de développement de l'insecte	8
2.2.4. La Biologie de l'insecte.....	10
2.2.5. Les dégâts causés par <i>S. oryzae</i>	11
2.3. <i>Rhyzopertha dominica</i>	12
2.3.1. Position systématique	12
2.3.2. Répartition géographique	12
2.3.3. Description des différents stades de développement de l'insecte	13
2.3.4. Biologie	15
2.3.5. Les dégâts causés par <i>R. dominica</i>	15
3. Les stratégies de lutte	16
3.1. La lutte chimique.....	16
3.2. Les alternatives à la lutte chimique	17
3.2.1. La résistance variétale	17
3.2.2. Lutte physique	18
3.2.3. La lutte biologique	20
3.2.4. Utilisation des plantes insecticides.....	21

Chapitre II : Tests de toxicité avec les huiles de grignons d'olives

1. Introduction	24
2- Matériels animal et végétal	25
2.1. Insectes	25
2.2. Le substrat	25
2.3. L'huile d'olive et les huiles de grignon d'olive.....	25
2.3.1. Définition	25
2.3.2. Classification des huiles d'olive et de grignons d'olive.....	26
2.3.3. Composition en acide gras des huiles d'olive et de grignon d'olive.....	27
3- Méthodes.....	28
3.1. Huile d'olive.....	28

3.1.1. Échantillonnage	28
3.1.2. Extraction de l'huile avec l'oléodoseur.....	28
3.2. Huiles de grignons.....	28
3.2.1. Échantillonnage.....	28
3.2.2. Opérations préliminaires	29
3.2.2.1. Détermination de la teneur en humidité	29
3.2.2.2. Séchage.....	29
3.2.2.3. Extraction des huiles de grignons d'olive	29
3.2.2.4. Rendement de l'extraction	32
3.2.2.5. Solvant d'extraction	32
3.3. Analyse des huiles	33
3.4. Les tests de toxicité par contact.....	33
3.5. Effectif des descendants de la première génération	34
3.6. La perte en poids des graines.....	34
3.7. Le taux de germination des graines	34
4. Analyse des données	34
5. Résultats	35
5.1. Résultats de la caractérisation et du profil en acides gras des six huiles.....	35
5.2. Résultats des tests par contact sur les adultes de <i>R. dominica</i> et de <i>S. Oryzae</i>	38
5.3. Taux d'émergence des adultes de la première génération de <i>R. dominica</i> et de <i>S. oryzae</i>	42
5.4. Effet des six traitements sur la perte en poids des graines	43
5.5. Effet des six traitements sur le taux de germination des graines de blé	44
6. Discussion	45
7. Conclusion.....	49

Chapitre III : Tests de toxicité avec les huiles d'olive

1. Introduction	50
2. Matériels et méthodes.....	51
2.1. Matériel biologique	51
2.2. Le substrat utilisé.....	51
2.3. Huiles d'olive	51
2.3.1. Provenance des huiles	51
2.3.2. Échantillonnage.....	52
2.3.3. Détermination de l'indice de maturité.....	53
2.3.4. Extraction de l'huile d'olive.....	54
2.3.5. Détermination des indices de qualité de l'huile	54
2.3.6. Bioessais.....	54
2.3.7. Analyse des données	55
3. Résultats	55
3.1. Les indices de qualité des huiles d'olives de la variété chemlal	55
3.1.1. L'acidité libre	56
3.1.2. Indice de peroxyde	56

3.1.3. L'absorbance dans l'UV	57
3.2. Composition en AG	58
3.3. Toxicité des huiles végétales	61
3.3.1. Effet des huit traitements sur la mortalité des deux insectes.....	61
3.3.2. Effectif des descendants de la première génération	66
3.4. Effet des huiles végétales sur les caractéristiques de la graine	71
3.4.1. Effet des six traitements sur la perte en poids des graines traitées.....	71
3.4.2. Effet des six traitements sur le taux de germination des graines de blé.....	76
4-Discussion	81
5. Conclusion.....	83
 Conclusion générale	 84
Références bibliographique	87
Annexes	130
Publication	
Résumé	

Introduction générale

Les céréales occupent à l'échelle mondiale une place primordiale dans le système agricole. Aujourd'hui, elles dominent avec 50% des terres arables au cours de la dernière décennie (FAO, 2018). Elles sont considérées comme une principale source de la nutrition humaine et animale (Biel et al., 2020).

Le blé (*Triticum* spp.) est une céréale d'importance économique mondiale majeure. Elle est la plus grande culture cultivée au monde avec 22% du total des terres arables dans le monde (Harkness et al., 2020). Actuellement, le blé est la deuxième culture céréalière la plus produite (749 millions de tonnes) après le maïs (1,03 milliard de tonnes) (Savadi et al., 2018). La superficie cultivée en blé dans le monde, au cours de la dernière décennie, dépasse 87 millions d'hectares et environ 90% est occupée par du blé tendre. Elle est l'une des cultures de base les plus importantes dans le monde, en raison de sa teneur élevée en gluten (80%), en acides aminés essentiels, en vitamines, en minéraux, en fibres et en autres composés phytochimiques (Valenzuela-Aragon et al., 2019).

En Algérie, les céréales, principalement le blé, occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (Benbelkacem et Kellou, 2000; Lakhdari et Ayad, 2009 ; Chikihi, 2013). En effet, Touchan et al. (2016) ont rapporté que le blé dur (*Triticum durum*) représente 46% des cultures céréalières en Algérie. La production totale de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est estimée à plus de 600 millions de tonnes par an (Bellatreche et al., 2017).

Parmi les principaux obstacles rencontrés par la production céréalière en Afrique figurent les pertes occasionnées par les insectes ravageurs des grains stockés (Phillips et Throne, 2010; Midega et al., 2016). En effet, les pertes après récolte ont été estimées à 9% dans les pays développés et à 20% ou plus dans les pays en développement (Pimentel et al., 1991). Par exemple, les insectes, principalement des coléoptères, sont responsables d'énormes pertes de céréales allant jusqu'à 57% en Afrique (Kumar et Kalita, 2017).

Sitophilus oryzae L. (Coleoptera: Curculionidae) et *Rhyzopertha dominica* (Fab.), (Coleoptera: Bostrychidae) sont deux des insectes ravageurs primaires les plus répandus et les plus destructeurs des céréales, si aucune mesure de protection n'est prise (Chintzoglou et al., 2008; Obeng-Ofori, 2011; Mason et Mc Donough, 2012) . Les dégâts occasionnés se traduisent par une baisse du potentiel germinatif, une perte de poids des graines et de la valeur nutritive (Gourgouta et al., 2019; Paloukas et al., 2020).

Actuellement, le contrôle de ces insectes est principalement basé sur l'utilisation de pesticides de synthèse (Gossen et McDonald, 2019; Machekano et al., 2019). Cependant,

l'apparition de résistances chez de nombreuses espèces, la demande d'aliments sans résidus, la préoccupation croissante pour la sécurité des travailleurs et les risques environnementaux liés au bromure de méthyle (Boyer et al., 2012) ont conduit les chercheurs à évaluer l'utilisation potentielle de méthodes de lutte alternatives, pour la protection des grains stockés, plus respectueuses de la santé humaine et de l'environnement (Donahaye, 2000; Adak et al., 2019). À cet égard, l'utilisation de produits dérivés de plantes est considérée comme une alternative prometteuse, avec les pesticides traditionnels utilisés contre les insectes des produits stockés (Kellouche et al., 2004; Isman, 2006, Guettal et al. 2020 a, b; Saroj et al., 2020). Parmi celles-ci, les huiles végétales ont fait l'objet de recherches approfondies en tant qu'insecticides naturels contre plusieurs espèces d'insectes des produits stockés avec des résultats prometteurs (Obeng-Ofori et Amiteye, 2005; Nikpay, 2006; Rahman et Talukder 2006; Demissie et al., 2008; Udo et Harry, 2013; Tufail et al., 2015; Wahedi et al., 2015; Wale et Assegie, 2015; Jilu et al., 2018).

Le mode d'action de ces huiles reste à confirmer, mais la plupart semblent provoquer la suffocation des œufs, des larves ou des adultes des insectes ravageurs (Don- Pedro, 1989 ; Ait Aider et al., 2016).

Parmi les huiles végétales comestibles, l'huile d'olive est bien connue pour ses vertus sur la santé humaine (Foscolou et al., 2018). Cette huile est utilisée en grande quantité dans la cuisine locale et a été également traditionnellement utilisée dans la région de la Kabylie (Algérie) dans la lutte contre les insectes des grains stockés (Kellouche et al., 2004).

Le grignon d'olive est un sous-produit très important de l'industrie de l'huile d'olive puisqu'il peut contenir jusqu'à 12% d'huile et est principalement constitué d'eau, de peau d'olive, de chair d'olive et de fragments de noyaux (Meziane et Kadi, 2008). On estime que la production du grignons d'olive atteint 2 881 500 tonnes / an dans le monde (Ravindran et Jaiswal, 2016; Nunes et al., 2020). L'utilisation de ce résidu solide revêt une grande importance économique et sociale pour la région méditerranéenne, car il s'accumule en grande quantité dans la nature lors de la production de l'huile d'olive (Dermeche et al., 2013; Nunes et al., 2018; Ribeiro et al., 2020).

Les efforts de recherche se sont concentrés sur les approches de traitement et les options de valorisation des grignons, afin de réduire ses effets nocifs sur l'environnement, il est principalement utilisé pour extraire l'huile de grignons (Clemente, 1997; Meziane, 2013; Mateos et al., 2019; Ribeiro et al., 2020). L'huile extraite est appelée «huile de grignons brute» et doit être raffinée avant d'être consommée (CEE, 2001).

L'intérêt de l'utilisation des huiles de grignons d'olive s'intensifie en raison de ses avantages économiques (Kadi et Fellag, 2001 ; Ruiz-Mendez, 2003 ; Keskin et al., 2016 ; Yanik, 2017 ; Chanioti et Tzia, 2018) . Elle est moins chère que l'huile d'olive et possède les composés fonctionnels de l'huile d'olive vierge, y compris la fraction glycéridique, à l'exception des polyphénols (Guillen et al., 2004), ainsi que d'autres composants biologiquement actifs qui sont en plus faible concentration dans l'huile d'olive comme les phytostérols, les tocophérols, les alcools aliphatiques, le squalène et les acides triterpéniques (Vioque et Morris, 1961 ; Perez-Camino et Cert, 1999 ; Marquez Martin, 2006a, b ; Lama-Muñoz, 2011).

L'huile d'olive a fait l'objet de plusieurs études qui ont démontré sa toxicité, vis-à-vis de différents insectes des grains stockés, qui est souvent attribuée à l'acide oléique (Kellouche et al., 2004; Khalequzzaman *et al.*, 2007; Ait Aider et al., 2016). A notre connaissance les données sont encore limitées sur les applications des sous produits oléicoles comme bio-insecticides.

Dans ce contexte et afin de promouvoir les produits locaux, l'intérêt de nos travaux est une contribution dans la recherche d'une méthode de lutte biologique, par l'utilisation des huiles de grignons d'olives brutes et les huiles d'olives algériennes (Kabylie) contre deux des principaux insectes ravageurs primaires des produits stockés, *S.oryzae* et *R. dominica*.

Pour tenter de cerner les déterminants de cette problématique, nous nous sommes proposés d'extraire dans un premier temps l'huile résiduelle des grignons à l'aide d'un solvant organique et les huiles d'olives à l'aide d'un oléodoseur. L'échantillonnage a été effectué sur deux campagnes agricoles (2016/2017 et 2017/2018) et ce, dans quatre vergers oléicoles : Tadmait, Maâtkas, M'Chedellah et Bechloul.

En deuxième lieu, les échantillons d'huile extraits sont soumis à une série d'analyses physico-chimiques : les indices de qualité (acidité, indice de peroxyde et l'absorbance dans l'ultra-violet à 232 et 270 nm) et le profil en acides gras.

En dernier lieu, nous avons réalisé des essais toxicologiques par contact avec toutes les huiles extraites des grignons d'olives et des olives de la variété Chemlal, afin de déterminer la toxicité de ces substances naturelles contre deux insectes ravageurs des grains stockés, *S.oryzae* et *R. dominica* dans les conditions de laboratoire.

Nous avons enfin tenté de cerner l'impact de certains facteurs sur l'efficacité des différents traitements comme l'espèce d'insectes, le substrat alimentaire, la dose des traitements, la durée d'exposition, l'origine des produits et la campagne oléicole.

Chapitre I

Revue bibliographique

1. La Plante hôte : le blé

1.1. Introduction

Le blé est une culture céréalière importante cultivée sur plus de 200 millions d'hectares dans le monde, fournissant environ 21% des besoins alimentaires mondiaux (FAO, 2015). Les deux principaux types de blé commercial sont le blé dur (tetraploide, BBAA) et le blé tendre (hexaploide, BBAADD), avec des capacités d'adaptation potentiellement différentes et seulement quelques propriétés technologiques distinctes qui rendent la semoule de blé dur et la farine de blé tendre plus adaptées aux pâtes, ou au pain et aux produits de boulangerie, respectivement (annexe 1).

Les cultivars de blé ont différents niveaux de résistance aux insectes des produits stockés (Ali et al., 2011 ; Hassan et al., 2017 ; Tripathi et al., 2017 ; Kalsa et al., 2019). Peu d'études ont été réalisées sur la sensibilité des grains de blé dur et de blé tendre à l'infestation par *Sitophilus spp* et *R. dominica* (Cinco-Moroyoqui et al., 2006 ; Batta et al., 2007 ; Mebarkia et al., 2009 ; Keskin et Ozkaya, 2015 ; Lemic et al., 2020). C'est ainsi que, Keskin et al. (2018) ont observé une infestation plus élevée et une plus grande abondance de *S. granarius* sur le blé tendre par rapport aux cultivars de blé dur, cela pourrait être dû au fait que la principale enzyme digestive de *S. granarius* est l'amylase (Baker, 1986). Par ailleurs, Nawrot et al. (2006) ont constaté que sept fois plus d'amylase était présente chez *S. granarius* nourri avec des cultivars de blé tendre comparativement aux cultivars de blé dur. On pense que les inhibiteurs enzymatiques entravent la digestion par leur action sur les amylases digestives et les protéases intestinales des insectes, qui jouent un rôle clé dans la digestion de l'amidon et des protéines végétales (González-Ruiz et al., 2021). Saad et al. (2018) ont constaté que différentes variétés de blé présentaient des différences significatives dans le pourcentage de grains endommagés par les insectes lorsqu'ils étaient exposés au charançon du riz, *S. oryzae* (L.) et au petit foreur des grains, *R. dominica*. Les auteurs ont rapporté que la dureté des grains a contribué à la résistance des variétés de blé testées.

1.2. Origine et répartition géographique

Le blé (*Triticum* sp. L.), en tant qu'une des premières cultures vivrières domestiquées, est l'aliment de base pour un large segment de la population à travers le monde. Il est cultivé principalement dans les régions du Moyen-Orient et du Proche-Orient et en Afrique du Nord qui sont considérées comme le centre d'origine et de diversification de cette culture (MacKey, 2005; Nave et al., 2019). Des preuves archéologiques montrent que les premiers blés domestiqués provenaient du Proche-Orient, dans la région connue sous le nom de Croissant fertile vers -10 000 ans av. J-C, ils se sont propagés à l'ouest du bassin méditerranéen,

atteignant la péninsule ibérique – dès 7000 ans BP (Lev-Yadun et al., 2000; Preece et al., 2017). Ce processus de migration et les sélections naturelles et humaines ont abouti à la création de variétés locales spécifiquement adaptées à une diversité de zones agro-écologiques (Rasheed et al., 2014).

En Algérie, la première enquête sur les ressources locales de blé était basée sur des traits morphologiques et physiologiques (Abdelkader, 2013 ; Bellatreche et al., 2017). C'est ainsi que, Boudour et al. (2011) ont caractérisé une collection de 1019 accessions de blé dur de différentes régions algériennes et récemment, Atoui et al. (2021) ont mené des études de divergence génétique qui peut exister entre neuf génotypes appartenant à la variété de blé dur «valenciae», variété principalement cultivée en Algérie.

1.3. Position systématique

Certains chercheurs classent le blé dans le genre de *Triticum* qui appartient à la tribu des Triticées, la sous-famille des *Pooideae* au sein de la famille des Poacées et plus largement au groupe des angiospermes monocotylédones. Les Poacées comptent plus de 600 genres et 10 000 espèces, poussant sous des latitudes et des climats diversifiés (Kellogg, 2001). Selon le nombre de paires de chromosomes, le genre *Triticum* est subdivisé en plusieurs espèces : des espèces diploïdes telles que l'Engrain (*Triticum monococcum*), des espèces tétraploïdes avec l'Amidonier (*Triticum dicoccum*) ou le blé dur (*Triticum durum*) et enfin des espèces hexaploïdes telles que le blé tendre (*Triticum aestivum*). Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre et le blé dur, avec une proportion de 95% et 5% de la production de blé mondiale, respectivement (Gooding, 2009 ; Shewry et Hey, 2015).

1.4. Structure et composition du grain de blé

Le grain de blé est constitué de 3 grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes (figure 1). Il est constitué majoritairement d'amidon qui représente environ 70% de la matière sèche du grain et qui est situé dans l'albumen. Les protéines représentent entre 10 et 15% de la matière sèche et se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé avec une concentration plus importante dans le germe et la couche à aleurone (Pomeranz, 1988). Les pentosanes (polysaccharides non amylacés) représentent quant à eux entre 2 et 3% de la matière sèche et sont les principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen (70 à 80%). Les grains de blé sont également une bonne source de minéraux (notamment de magnésium) et de vitamines B, et contiennent un certain nombre de molécules présentant des activités intéressantes: vitamine E, composés antioxydants (acides phénoliques, caroténoïdes, etc.), et composés hormonalement actifs comme les lignanes (Slavin et al., 1999 ; Hu et al., 2021).

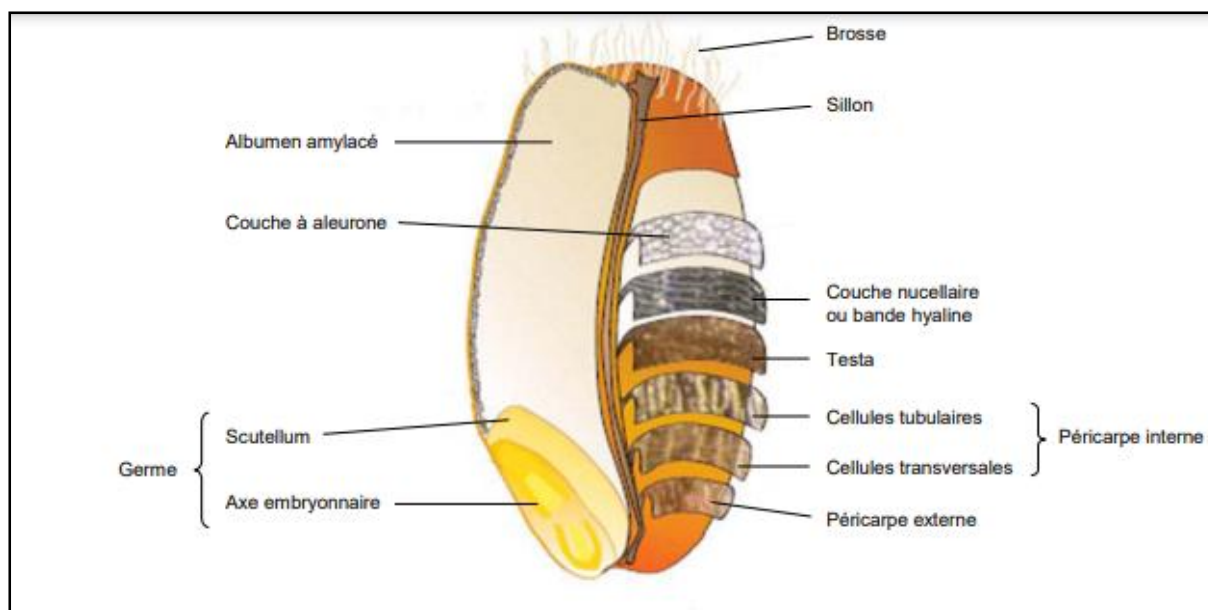


Figure 1. Anatomie du grain de blé tendre (Surget et Barron, 2005).

*La répartition des composants dans le grain de blé est la suivante : 55-60% de glucides non amylicés, 14-25% d'amidon, 13-18% de protéines, 3-8% de minéraux et 3-4% de graisses, calculé par rapport à la matière sèche (Surget et Barron, 2005).

1.5. Production de blé dans le monde et en Algérie

Le blé est l'une des cultures vivrières les plus importantes. Il occupe la troisième place de la production céréalière mondiale, après le maïs (*Zea mays* L.) et le riz (*Oryza sativa* L.) et la première place en termes de superficie céréalière (FAO, 2019).

Il constitue une importante culture vivrière de base pour plus d'un tiers de la population mondiale, elle est, avec le riz, la céréale la plus consommée par l'homme et représente un cinquième des apports caloriques dans l'alimentation humaine. Chaves et al. (2013) ont rapporté que 85% et 82% de la population mondiale dépendent du blé pour les calories de base et les protéines, respectivement. À l'échelle mondiale, en 2017, 754 millions de tonnes de blé ont été produites sur 220 millions d'hectares, ce qui a nourri plus d'un milliard de personnes dans les pays en développement (FAO, 2018).

En termes de volume de production, l'Union Européenne (155 millions de tonnes) vient en tête de classement, suivie, respectivement, par la Chine (126 millions de tonnes), l'Inde (95 millions de tonnes), la Russie (59 millions de tonnes), les États-Unis (55 millions de tonnes), le Canada (29 millions de tonnes), l'Australie (26 millions de tonnes), l'Ukraine (24 millions de tonnes) et l'Argentine (12 millions de tonnes) (Siad et al., 2017). Les principaux exportateurs de blé sont les États-Unis, le Canada, l'Australie, l'Union européenne, la Russie, l'Ukraine et l'Argentine (USDA, 2014).

Le secteur des céréales est un secteur fondamental de l'agriculture Algérienne dont la production céréalière a atteint 3,3 millions de tonnes en 2014 (FAO ,2015); par ailleurs, elles constituent l'essentiel de la ration alimentaire quotidienne de la population et occupent une superficie de 2.7 millions d'hectares, soit près de 40% de la superficie agricole totale de l'Algérie (Tirichine et al., 2015). Les principales cultures céréalières sont le blé et l'orge (*Hordeum. sp.*) qui occupaient en 1994, respectivement 22% et 14% des terres arables. Le blé dur est la première céréale cultivée; il occupe 45% de la superficie consacrée aux céréales, soit 1,6 million d'hectares (Kirouani et al., 2019). Le blé tendre occupe le troisième rang après le blé dur et l'orge, avec une superficie cultivée annuelle de 0,8 million d'hectares, soit 24,2% de la superficie consacrée aux céréales (Mebdoua et Ounane, 2019).

L'Algérie est l'un des plus grands importateurs mondiaux de céréales. En moyenne, 5 millions de tonnes de céréales ont été importées au cours des cinq dernières années; les pics d'importations ont atteint 7,4 millions de tonnes en 2011 et 6,9 millions de tonnes en 2012 (Touchan et al., 2016). L'autosuffisance céréalière est passée de 91%, en 1962, à 18% en 1990 (Chikihi, 2013). Malgré le rebond de la production, l'Algérie continue d'importer 75 % de ses besoins en céréales. La France est le principal exportateur de blé dur vers l'Algérie, tandis que le Canada est le principal fournisseur de blé tendre (FAO, 2018).

2. Présentation des deux insectes étudiés

2.1. Introduction

Les coléoptères constituent l'ordre le plus important du règne animal avec plus de 386 500 espèces décrites dont environ 399 espèces sont associées aux denrées stockées (Delobel et Tran, 1993).

Le genre *Sitophilus* Schoenherr, contient certains des ravageurs communs et destructeurs des céréales stockées. Le charançon du riz, *S. oryzae* (L.) et le charançon du maïs, *S. zeamais* (Motsch.) sont particulièrement abondants dans les zones tropicales, subtropicales et chaudes. Tous deux peuvent se développer sur plusieurs grains, mais *S. oryzae* a une préférence marquée pour le blé, tandis que *S. zeamais* a une préférence pour le maïs (Rossetto, 1969 ; Athie et Paula, 2002). *S. oryzae* et *S. zeamais* sont étroitement liés et leur identification morphologique est difficile. Floyd et Newsom (1959) ont conclu que les genitalia femelles peuvent être utilisés comme des indicateurs fiables pour leur identification ; le spiculum ventrale en forme de Y est pointu et effilé chez *S. zeamais*, alors qu'il est arrondi et émoussé chez *S. oryzae* (Kuschel, 1961).

Rhizopertha dominica appartient à la famille des Bostrychidae, contenant environ 550 espèces classées dans 99 genres (Marske et Ivie, 2003). Le nom commun «petit foreur du

grain» a été utilisé pour distinguer *R. dominica* du *Prostephanus truncatus* (Coleoptera : Bostrychidae) relativement plus grand, qui a reçu le nom commun de «grand foreur du grain ou de grand capucin des grains » (Chittenden, 1911).

2.2. *Sitophilus oryzae* (Linnaeus 1763) (Coleoptera: Curculionidae).

2.2.1. Position systématique

Le genre *Sitophilus* se reconnaît par la présence d'un rostre renflé triangulairement et portant les antennes à sa base (Seck, 1992 ; Davis, 2018). Selon Lapesme (1944), *S. oryzae* occupe la position systématique suivante :

Embranchement : Arthropoda

Sous- embranchement : Hexapoda

Classe : Insecta

Ordre: Coleoptera

Sous-ordre : Heterogastra

Super famille : Phytophagoidea

Famille: Curculionidae

Sous famille : Rhynchophorinae

Espèce: *Sitophilus oryzae* (Linnaeus 1763)

Nom commun: "Charançon du riz" ou calandre du riz

2.2.2. Répartition géographique

On trouve ce charançon dans la plupart des régions du monde, mais surtout dans les zones subtropicales et tempérées chaudes, il cause des dégâts importants (Mason et Mc Donough 2012; CABI, 2017; EPPO, 2017). Cette espèce est très répandue aux Indes, en Australie, dans le sud des Etats Unis d'Amérique et en Afrique du Nord (Longstaff, 1981; Throne et Cline, 1991; Corrêa et al., 2017).

2.2.3. Description des différents stades de développement de l'insecte

✓ Les œufs

L'œuf de *S. oryzae* est piriforme, d'un blanc opaque et brillant. Il mesure 0,6 à 0,7 mm de longueur et 0,2 à 0,3 mm de largeur (Le Cato et Flaherty, 1974 ; Sattigi 1982 ; Jadhav, 2006 ; Thakkar et al., 2020) (figure2).

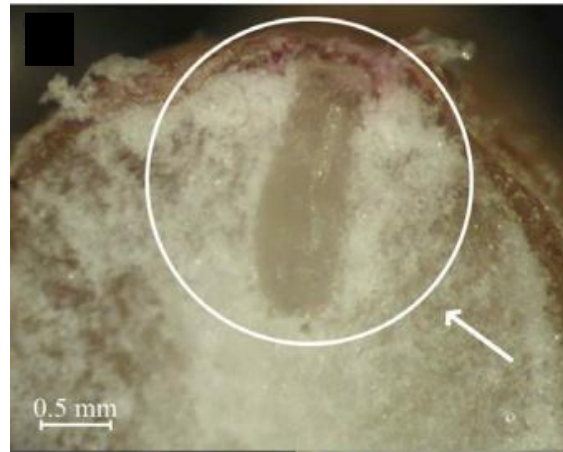


Figure 2. Œuf de *S. oryzae* (Flay et al., 2010).

✓ Les larves

La larve est longue de 2,5 à 3 mm, de couleur blanche, de forme sub-circulaire, apode et très peu velue (Delobel et Tran, 1993 ; Srivastava et Subramanian, 2016). Le premier stade mesure de 0,29 mm à 0,31 mm de longueur, le deuxième stade de 0,41 mm à 0,49 mm, le troisième stade de 0,88 mm à 10,1 mm et le quatrième de 1,35 à 1,50 mm (Jadhav, 2006) (figure 3).



Figure 3. Larve de *S. oryzae* (G :40) (© S. Kerbel).

✓ Les nymphes

Une fois formée, la nymphe est de couleur blanche, mais peu de temps après, elle devient jaune crème, elle mesure 3,75 à 4 mm de long sur 1.75 mm de large (Yevoor, 2003 ; Jadhav, 2006) (figure 4).

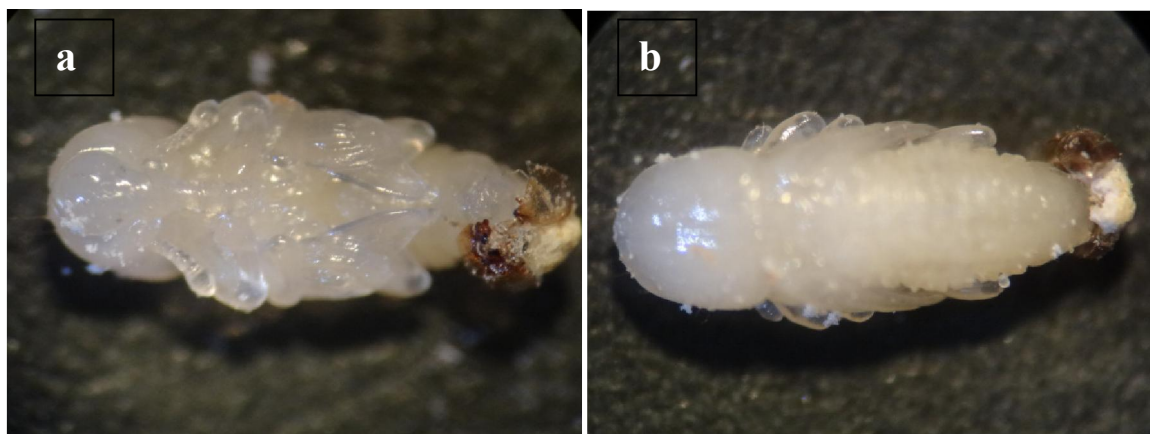


Figure 4. Nympe de *S. oryzae* vue ventrale (a) et vue dorsale (b) (G :40) (© S. Kerbel).

✓ L'imago

L'imago d'un brun à brun-roux, mesure 2,5 à 5 mm de long. Sa tête est munie d'un rostre, plus court que le pronotum, qui est cylindrique dans sa partie antérieure. Il est caractérisé par la présence de deux grosses tâches orangées sur les élytres qui sont ponctuées et striées. Les stries élytrales sont grossièrement ponctuées et les inter- stries finement ponctuées. Il possède des ailes postérieures membraneuses et peut voler (Delobel et Tran, 1993 ; Srivastava et Subramanian, 2016). Le rostre du mâle est plus court et plus épais et moins lisse que celui de la femelle: la face ventrale de l'abdomen est concave à l'apex chez le mâle à peu près plane chez la femelle (Mason et McDonough, 2012; Devi et al., 2017) (figure 5).

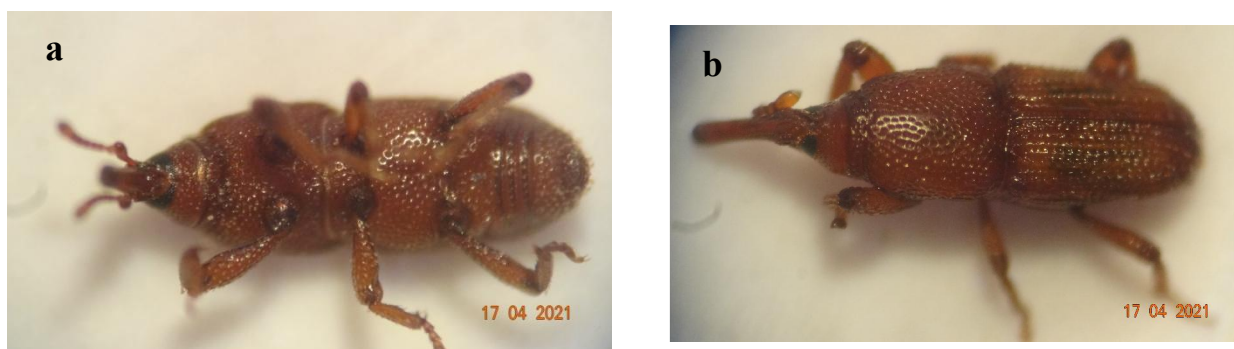


Figure 5. L'imago de *S. oryzae* vue ventrale (a) et vue dorsale (b) (G :40) (© S. Kerbel).

2.2.4. La Biologie de l'insecte

Les femelles s'accouplent peu après leur sortie des grains et deux semaines plus tard commencent à pondre de 150 à 200 œufs par femelle, à un rythme qui dépend de la température ambiante et de la dureté des graines (Togola et al., 2013; Keskin et Ozkaya, 2015 ; Romano et al., 2016). La ponte maximale a lieu une à deux semaines après l'émergence de l'adulte (Arbogast, 1991) et l'éclosion nécessite 5 à 7 jours sous les

conditions optimales de température (25.5 à 29.1° C) et d'humidité relative (70-80%) (Mason et Mc Donough, 2016).

Les stades immatures (œuf, larve et nymphe) se succèdent à l'intérieur du grain, et à une température de 20 à 27 °C, un charançon adulte émerge en quatre semaines (Hagstrum et al., 2012). La larve ronge l'intérieur du grain, se développe et s'y nymphose. Il y a quatre stades larvaires d'environ 5 à 7 jours chacun et une période nymphale de 7 à 8 jours (Chaudhury et Chakraborty, 2014 ; Devi et al., 2017 ; Singh, 2017). Les adultes émergent et peuvent rester dans les grains jusqu'à cinq jours et vivre en moyenne environ trois mois, bien que certains aient vécu plus d'un an (Mason et McDonough, 2016). D'après Arbogast (1991), les temps de développement de l'œuf à l'adulte vont de 25 jours à 29,1 ° C à 35 jours à 27 ° C.

Les charançons du riz peuvent voler et se distribuer facilement dans une installation de stockage. Dans les pays chauds, la femelle adulte, en plus de s'attaquer aux produits céréaliers entreposés, peut aller pondre ses œufs dans les cultures de céréales en maturation (Srivastava et Subramanian, 2016).

2.2.5. Les dégâts causés par *S. oryzae*

S. oryzae est une espèce de coléoptère extrêmement destructrice (Derbalah et al. , 2012; Gad et al.,2020 ; Moses et al., 2020 ; Ocampo et al., 2020), qui attaque différents types de produits stockés dans le monde, comme le blé, le maïs, l'orge, le sorgho, le seigle, l'avoine, le riz, le millet, les graines de coton, de vesce, les haricots, les noix, la farine, les pâtes et le manioc (Aitken, 1975; Hill, 2002 ; Athanassiou et al., 2017 ; Thakkar et Parikh, 2020). En tant que ravageur primaire, il est capable d'infester les grains sains tandis que ses larves s'y nourrissent et terminent leur développement dans la partie interne des grains (Dobie et al., 1991 ; Atanda et al, 2016 ; Okram et Hath, 2019).

Les adultes de *S. oryzae* colonisent rapidement les produits stockés, car ils sont capables de voler (Hill, 2002). L'infestation des céréales stockées par cet insecte ravageur cause des dommages à la fois quantitatifs et qualitatifs. Les dommages quantitatifs sont dus à la perte de poids des céréales, causée par l'alimentation des insectes, tandis que les dommages qualitatifs sont attribuables à la perte de valeurs nutritionnelles, esthétiques et industrielles. L'insecte peut également causer une diminution du pouvoir germinatif des semences en se nourrissant d'embryons de graines. Ce charançon peut entraîner une perte de grain entre 12 et 20% et la perte peut atteindre jusqu'à 80% dans des conditions favorables (Gupta et al., 1999 ; Yoon et al., 2007 ; Soujanya et al. 2013 ; Choudhury et Chakraborty, 2014 ; Atanda et al., 2016 ; Saad et al, 2018 ; Gad et al., 2020) (figure 6).



Figure 6. Dégâts de *S. oryzae* sur du blé tendre (© S. Kerbel).

2.3. *Rhyzopertha dominica* (Fabricius 1792) (Coleoptera: Bostrychidae)

2.3.1. Position systématique

La famille des *Bostrychidae* se reconnaît par sa forme cylindrique caractéristique (Seck, 1992). *R. dominica* est la seule espèce du genre *Rhyzopertha*. Ce genre est inclus dans la sous-famille Dinoderinae, qui comprend également cinq autres genres *Dinoderus* Stephens, *Prostephanus* Lesne, *Rhyzoperthodes* Lesne, *Dinoderopsis* Lesne et *Stephanopachys* Waterhouse (Edee, 2012). Selon Lepesme (1944), *R. dominica* occupe la position systématique suivante :

Embranchement : Arthropoda
Sous- embranchement : Hexapoda
Classe : Insecta
Ordre: Coleoptera
Sous-ordre : Heterogastra
Super famille : Cucujoidea
Famille: Bostrychidae
Sous famille : Dinoderinae
Espèce: *Rhyzopertha dominica* (Fabricius)
Nom commun: " petit capucin des grains "

2.3.2. Répartition géographique

Le petit capucin est vraisemblablement originaire d'Asie du sud-est, il est actuellement répandu dans l'ensemble des zones tropicales, subtropicales et tempérées chaudes (Sallam, 1999; Mason et McDonough, 2012; CABI, 2017). Il est devenu, en raison de sa tolérance à de nombreux insecticides, et en particulier au phosphore d'hydrogène, le principal ravageur des stocks de blé et de riz dans différentes régions d'Asie (Delobel et Tran, 1993).

2.3.3. Description des différents stades de développement de l'insecte

✓ Les œufs

L'œuf est opaque, de couleur blanchâtre avec un aspect cireux lorsqu'il est fraîchement pondu, mais prend après un certain temps une couleur rosâtre (Kucerova et Stejskal, 2008). Il est de forme ovale et mesure environ 0,5 à 0,6 mm de longueur et 0,2-0,25 mm de diamètre (Thompson, 1966; LeCato et Flaherty, 1974; Kucerova et Stejskal, 2008) (figure 7).

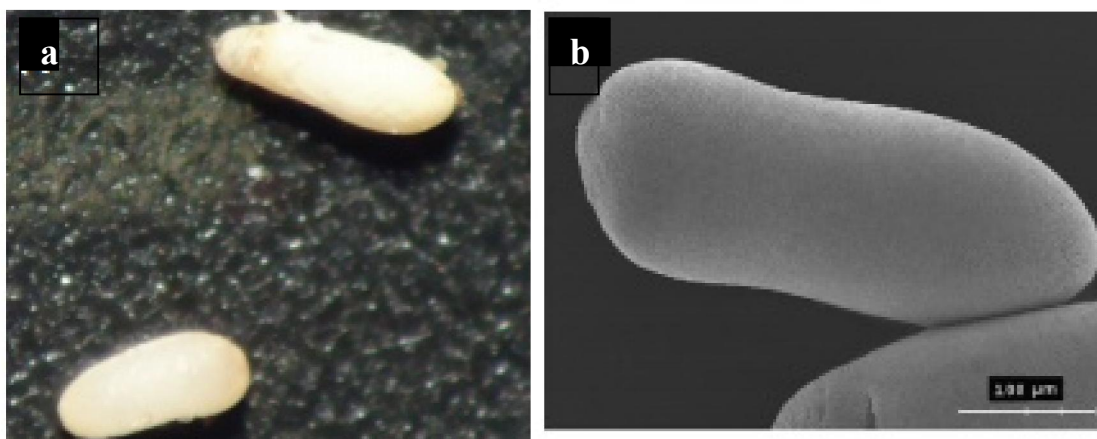


Figure 7. Œuf de *R. dominica*, (a: Lorini et al., 2015 ; b: Kucerová et Stejskal, 2008, Micrographies SEM).

✓ La larve

La larve à l'éclosion présente une épine pygidiale caractéristique, de couleur jaune et insérée au bord dorsal d'une cavité formant ventouse. A maturité, elle mesure 5 à 6 mm de long, est de couleur blanche, à tête brunâtre, avec les mandibules plus sombres, armées de trois dents distinctes et a un corps fortement courbé. Le segment anal renflé, comprimé et ramené sous l'abdomen, leur donne un aspect qui rappelle celui des larves de Scarabeidae (Chittenden, 1911; Winterbottom, 1922 ; Potter, 1935) (figure 8).



Figure 8. Larve de *R. dominica*(G :40) (© S. Kerbel).

✓ Les nymphes

Les nymphes de *R. dominica* sont exarate ou libre, c'est-à-dire que les appendices ne sont pas fixés au corps. Elles sont inactives et leurs mouvements corporels sont limités aux segments abdominaux. Les jeunes nymphes sont de couleur blanchâtre, mais plus tard, un pigment brun est déposé dans les yeux et les pièces buccales (Winterbottom, 1922). Les longueurs moyennes du corps et de la capsule céphalique sont respectivement de 3,9 et 0,6 mm. Au stade nymphal, il est possible de distinguer les sexes ; les papilles génitales sont formées de deux articles chez le mâle et de trois chez la femelle (Potter, 1935; Halstead, 1963) (figure 9).

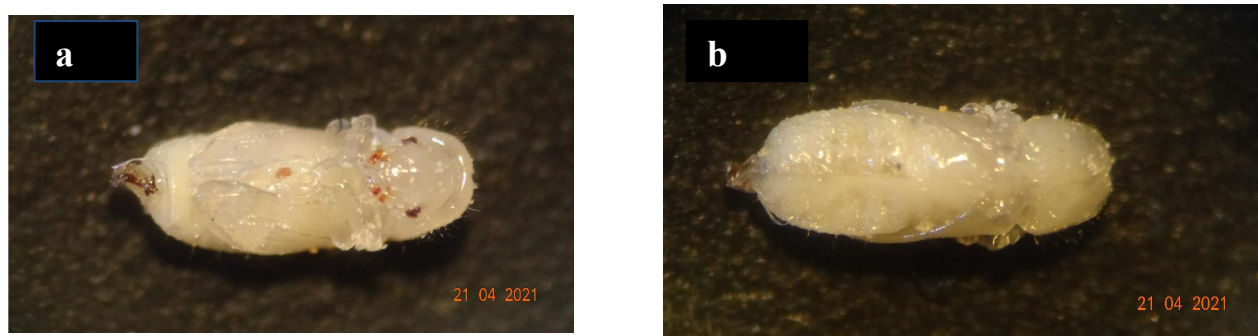


Figure 9. Nympe de *R. dominica* vue ventrale (a) et vue dorsale (b) (G :40) (© S. Kerbel).

✓ Les imagos

L'adulte est de couleur brun rougeâtre à brun foncé, de forme cylindrique, allongé et étroit, d'une taille allant de 2 à 3 mm de long et de 0,8-1 mm de large (Edde et Phillips, 2006), et sa tête, recourbée vers l'avant, est cachée par le pronotum qui la recouvre en l'encapuchonnant. Les antennes se composent de dix articles, les trois derniers fortement dilatés, l'avant-dernier aussi long que le précédent (Chittenden, 1911; Chûjô, 1958). Les élytres sont arrondis postérieurement et ornés de lignes de gros points enfoncés : leur déclivité postérieure est faible, régulière et porte des poils recourbés (Chûjô, 1958) (figure 10).

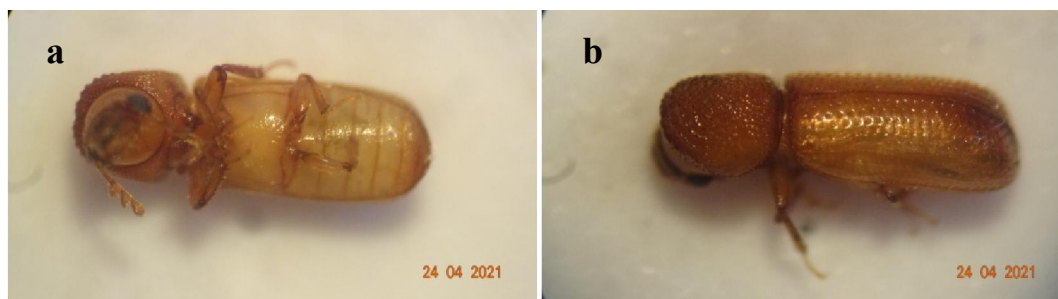


Figure 10. L'imago de *R. dominica* vue ventrale (a) et vue dorsale (b) (G :40) (© S. Kerbel).

2.3.4. Biologie

R. dominica est un insecte holométabole, c'est-à-dire qu'il subit une métamorphose complète (Edee, 2012). Les femelles accouplées commencent à pondre environ deux semaines plus tard et continuent pendant environ quatre mois. Les œufs, jusqu'à 500 par femelle, sont pondus dans ou entre les grains, souvent en groupes et dès l'éclosion, les jeunes larves pénètrent dans l'albumen et se nourrissent au fur et à mesure de leur progression ; elles passent généralement par trois à quatre stades avant de se nymphoser à l'intérieur de la graine ; la période nymphale dure de cinq à huit jours (Potter, 1935 ; Thomson, 1966; Hill, 2002; Jia et al., 2008 ; Edde, 2012 ; Mason et McDonough, 2012). Le développement des œufs prend 32 jours à 18,1 ° C mais seulement 5 jours à 36 ° C. L'effet de cette plage de températures est encore plus subtil pour le développement larvaire.

Les larves et les adultes sont très voraces et laissent des grains fragmentés et des résidus poudreux. Les larves peuvent terminer leur développement dans les résidus de céréales. Les adultes restent généralement à l'intérieur de l'amande pendant quelques jours avant de sortir. La longévité moyenne des mâles et des femelles adultes de *R. dominica*, infestant les grains de blé, à 28 °C et 65% d'humidité relative, est respectivement de 26 et 17 semaines (Edde et Phillips, 2006 ; Nguyen et al., 2008). Les limites de température minimale et maximale, pour le développement, sont de 18,2 et 39 °C, respectivement sur grain de blé, à 14% d'humidité, et 70% d'humidité relative (Birch, 1953; Arbogast 1991 ; Longstaff, 1999). La température optimale pour le développement est de 28 °C (Howe, 1950). La teneur optimale en humidité du grain pour le développement de *R. dominica* se situe entre 12 et 14%, à des températures de 26 à 34 °C (Birch, 1945).

Il existe 5 à 6 générations par an. C'est ainsi que *R. dominica* détruit le grain stocké tout au long de l'année.

2.3.5. Les dégâts causés par *R. dominica*

Le petit capucin des céréales est un ravageur important des produits stockés dans le monde, causant de graves dommages aux céréales (Daglish et al., 2016 ; Arthur et al., 2020). C'est un ravageur très destructeur du blé, du riz, du maïs, du sorgho, de l'orge, du seigle, des millets, etc. (Aitken, 1975; Mason et McDonough, 2012). En tant que ravageur primaire, les larves et les adultes de *R. dominica* peuvent infester les grains sains (Hill, 2002) ; ils dévorent le germe et l'endosperme, ne laissant souvent subsister du grain originel que le péricarpe. De plus, cette espèce peut se développer et se reproduire rapidement dans les graines sèches, même à un taux d'humidité de 9% (Golebiowska, 1969; Edde, 2012).

L'adulte est responsable de pertes qu'on estime être huit fois supérieures à celles occasionnées par la larve (Huchet, 2017). En effet, l'infestation des stocks par *R. dominica* occasionne des pertes de poids (Park et al., 2008) , une diminution des acides aminés essentiels (Jood et al., 1996 a, b ; Waongo et al., 2018 ; Boukouvala et al., 2020) , une baisse du pouvoir germinatif des semences et la réduction de la vigueur des plants à la levée. Les grains infestés sont alors vulnérables aux attaques des ravageurs secondaires et aux moisissures (Kumawat et Naga , 2013 ; Arthur et al., 2020 ; Win et al., 2020). Le grain infesté par le petit foreur des grains a une odeur caractéristique et légèrement piquante (Edde, 2012) (figure 11).



Figure 11. Dégâts de *R. dominica* sur du blé tendre (© S. Kerbel).

3. Les stratégies de lutte

3.1. La lutte chimique

Les mesures de contrôle sont actuellement basées sur l'application de produits chimiques, en raison de leur efficacité et de leur faible coût (Boyer et al., 2012 ; Kumar et Kalita, 2017). Les méthodes chimiques comprennent les insecticides synthétiques conventionnels, les fumigants, les régulateurs de croissance et les insecticides à base de plantes (White et Leesch, 1996 ; Kljajic et Peric, 2006 ; Regnault-Roger et al., 2012 ; Isman et Grieneisen, 2014 ; Khare, 2015 ; Arthur et al., 2018; Kavallieratos et Boukouvala, 2018 ; Rajendran, 2020). Les plus répandus sont les insecticides chimiques conventionnels tels que les organophosphorés (dichlorvos, malathion, méthyl-chlorpyriphos, méthylpyrimiphos), les pyréthroïdes (deltaméthrine), les pyréthrinés obtenues à partir des extraits de *Tanacetum sp.* (Asteraceae) (Arthur, 1997 ; Alleoni et Ferreira, 2006 ; Kljajić et Perić, 2007, 2009 ; Kavallieratos et al., 2015 ; Paudyal,et al., 2016 ; Gourgouta et al., 2019) et des fumigants qui comprennent le bromure de méthyle, la phosphine et le bromure de sulfhydryle (Bell, 2000 ; Kaur et Nayak,2015 ; Hwaidi et al., 2017 ; Agrafioti et al., 2019).

Néanmoins, l'utilisation de ces produits a causé des effets néfastes sur l'agro-écosystème tels que le développement de la résistance des insectes, la résurgence de ravageurs secondaires et la contamination de l'environnement, affectant la faune, les animaux domestiques et la santé humaine (Hagstrum, 2001 ; Bumrah et al., 2012 ; Opit et al., 2012 ; Hagstrum et Phillips, 2017 ; Kim et Kabir, 2017). En 1989, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) avait enregistré 504 cas de résistance, en particulier chez les insectes des ordres des diptères, lépidoptères, coléoptères et acariens. Les insectes d'entrepôt tels que *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae), *Tribolium confusum* (Du val) (Coleoptera: Tenebrionidae), *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae) et *R. dominica* ont développé une résistance au malathion et à divers autres insecticides organophosphorés, tandis que d'autres espèces telles que *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) et *Sitophilus spp.* semblent avoir développé une résistance aux insecticides pyréthroïdes (Beeman et Nanis, 1986 ; Correea et al., 2011 ; Babu et al., 2017 ; Julio et al., 2017 ; Collins et Schlipalius, 2018 ; Daglish et al., 2018 ; Attia et al., 2020).

Le retrait au niveau mondial du bromure de méthyle en 2015 (Arthur, 2012 ; Bulathsinghala et Shaw, 2014 ; Andersen et al., 2018) a considérablement accru la dépendance à l'égard de la phosphine, comme fumigant et a conduit au développement d'une résistance chez plusieurs espèces de ravageurs, *Lasioderma serricornis* (Fabricius) (Coleoptera: Anobiidae) (Rajendran et Narasimhan, 1994), *S. zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) (Pimentel et al., 2009), *T. castaneum* et *R. dominica* (Opit et al., 2012 ; Collins et al., 2017).

Face aux nuisances de la lutte chimique, nonobstant les succès enregistrés, il est nécessaire d'explorer des alternatives moins toxiques et plus durables (García-Lara et al., 2020). Nous ne citerons que les principales.

3.2. Les alternatives à la lutte chimique

3.2.1. La résistance variétale

Des variétés plus tolérantes ont été développées dans le but de limiter les pertes causées par les insectes des céréales stockées comme *S. oryzae* (Saad et al., 2018 ; Ajao et al., 2019), *R. dominica* (Toews et al., 2000 ; Astuti et al., 2013 ; Chougourou et al., 2013 ; Waongo et al., 2018 ; Arthur et al., 2020), *S. zeamais* (Gudrups et al., 2001 ; Lale et Kartay , 2006 ; Chuck-Hernández et al., 2013 ; Akpodiete et al., 2015 ; Suleiman et al., 2015), *S. granarius* (Lemic et al., 2020) et *T. castaneum* (Ali et al., 2011 ; Arthur et al., 2015).

Cette résistance est influencée par des facteurs biophysiques, biochimiques et génétiques, y compris la dureté du noyau, l'épaisseur / la rigidité du péricarpe, les composés phénoliques,

les enzymes et les composants structuraux du noyau (Adedire et al., 2011 ; García- Lara et Bergvinson, 2014; Piesik et Wenda-Piesik, 2015 ; Kiszonas et Morris, 2017; Tripathi et al., 2017 ; Lopez-Castillo et al., 2018 ; Wenda-Piesik et al., 2018). Le niveau de résistance est souvent évalué par l'indice de sensibilité Dobie, qui définit un cultivar comme hautement résistant, modérément résistant ou sensible (Dobie, 1974; Demissie et al., 2015 ; Ajao et al., 2019). Pour *S. zeamais*, la réduction de la perte du poids du grain a atteint jusqu' à 75% par rapport à un génotype sensible (García-Lara et Bergvinson, 2007).

Toews et Cuperus (2000) ont montré que, pour une même variété de blé, les grains de petite taille étaient plus sensibles aux attaques de *R. dominica* par rapport à ceux de grande taille. Par ailleurs, Saad et al. (2018) ont constaté que la dureté des grains contribuait à la résistance des variétés de blé aux infestations du charançon du riz, *S. oryzae* et du petit foreur des grains, *R. dominica*. Dans le même ordre d'idée, Ram et Singh (1996) ont évalué 63 cultivars de blé contre *S. oryzae* et ont trouvé que la sensibilité était corrélée positivement avec la taille des grains et négativement avec la dureté. En outre, Bamaïyi et al.(2007) ont également mentionné que la dureté des céréales est la principale raison de la résistance des cultivars à l'infestation par *S. oryzae*, cependant, elle peut aussi être attribuée à certains composants du blé (alcools aliphatiques, aldéhydes, cétones et arômes) reflétant l'odeur des céréales qui pourrait affecter le comportement de l'insecte (Giacinto et al., 2008).

3.2.2. Lutte physique

La lutte physique signifie l'élimination du ravageur ou la détérioration physique de l'environnement de manière à le rendre inhospitalier ou inaccessible pour le ravageur (Kumar, 1991 ; Lienard et Seck, 1994). Elle peut consister à l'exposition des populations d'insectes ou/et des céréales aux radiations, à la chaleur ou au froids ou à une modification de la teneur en oxygène/dioxyde de carbone de leur biotope (Nanfack et al., 2015 ; Wijayarathne et al., 2019).

✓ Irradiation

La technique d'irradiation par des rayons gamma est utilisée dans de nombreux pays comme méthode de lutte contre les ravageurs du stockage (Ahmed, 1990 ; Phillips et Throne 2010 ; Farkas et Farkas, 2011 ; Farghal et al., 2020). L'irradiation sert à stériliser les insectes en endommageant les chromosomes des ovocytes et des spermatozoïdes (Bakri et al., 2005 ; Klaseen et Curtis, 2005 ; Moirangthem et Baik, 2020). Ces méthodes, bien que procurant de bons résultats, ne sont pas pratiques, en raison du coût de l'énergie et du coût de la construction des installations (Vadivambal et al., 2008 ; Enu et Enu, 2014 ; Pandir et Guven, 2014 ; Al-Akhdar et al., 2019).

✓ **Température**

Les insectes sont poïkilothermes, aussi la manipulation de la température de leur environnement a une incidence directe sur leur métabolisme et sur le taux d'accroissement des populations (Arthur et al., 2019). La désinsectisation à la chaleur des céréales est utilisée depuis de nombreuses années pour lutter contre les insectes des produits stockés (Fields, 1992; Beckett, 2011). Les résultats de Farghal et al. (2019) ont montré l'efficacité des basses (- 7 ° C) et des hautes (55 ° C) températures pour le contrôle des adultes de *R. dominica*. Hou et Wang (2019) ont étudié l'influence d'un traitement thermique des grains à des températures variant de 48 à 54 ° C sur les adultes de *R. dominica*. Les résultats ont révélé que la mortalité complète des adultes de *R. dominica* a été enregistrée à 54 ° C après 5 minutes d'exposition.

✓ **Technologie de l'atmosphère modifiée**

La technologie de l'atmosphère modifiée implique de modifier les concentrations des gaz atmosphériques normalement présents dans une structure de stockage (O₂, N₂ et CO₂), de l'humidité relative et de la pression atmosphérique, ce qui crée un environnement inhospitalier ou inaccessible pour le ravageur (Riudavets et al., 2010 ; Navarro, 2012 ; Cheng et al., 2015 ; Moirangthem et Baik, 2020). Cette méthode est particulièrement efficace sur les stades actifs des ravageurs (larves et adultes) tels que: *C. ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera : Cucujidae), *O. surinamensis* (Linnaeus) (Coleoptera : Silvniae), *S. granarius*, *S. oryzae*, *T. castaneum*, *S. zeamais*, *R. dominica*, *Callosobruchus chinensis* (Linn.) et *C. maculatus* (Coleoptera : Bruchidae) (Carvalho et al., 2012; Divya et al., 2016; Cui et al., 2017 ; Iturralde-Levy-De la Torre et al., 2019 ; García et al., 2020). Eissa et al. (2014) ont enregistré une mortalité de 100% chez *R. dominica*, en utilisant des concentrations de 60 et 80% de CO₂ pendant une durée d'exposition de 7 et 8 jours, respectivement. L'exposition des insectes à des niveaux élevés de CO₂ pendant de longues périodes, perturbe la croissance et la reproduction des insectes ; lorsque la teneur en CO₂ de l'environnement de l'atmosphère modifié est supérieure à 60%, la mort de ces ravageurs augmente rapidement (Nicolas et Sillans 1989; White et al., 1995).

✓ **poudres inertes**

L'utilisation des poudres inertes naturelles joue un rôle important dans la conservation traditionnelle des denrées stockées. Elles comprennent la terre de diatomées, la poussière inerte et le kaolin. Ces matériaux pulvérulents remplissent les vides entre les graines et constituent une barrière à la progression des femelles cherchant à pondre. Ces matériaux auraient un rôle abrasif sur les insectes et entraîneraient leur déshydratation en adsorbant ou abrasant le film lipodique protégeant leur cuticule (Subramanyam et Roesli, 2000).

La terre de diatomées a été évaluée contre la plupart des principaux insectes ravageurs des denrées stockées (Golob, 1997; Baldassari et Martini, 2014 ; Doumbia et al., 2014; Nwaubani et al., 2014). De nombreuses formulations de terre de diatomées sont maintenant disponibles dans le commerce et se sont avérées très efficaces contre les insectes des grains stockés (Athanassiou et al., 2014 ; Ashraf et al., 2017; Ziaee et al., 2018 ; Krzyzowski et al., 2019 ; Ertürk et al., 2020 ; Faliagka et al., 2020 ; Gad et al., 2020). En général, les espèces les plus sensibles sont *Cryptolestes* spp., les *Sitophilus* spp. sont moins sensibles, suivis par *Oryzaephilus* spp, *R. dominica* (F.) et *Tribolium* spp. qui sont les espèces les plus tolérantes (Mortazavi et al., 2020).

3.2.3. La lutte biologique

Elle consiste à combattre les insectes ravageurs en utilisant leurs ennemis naturels dont les parasitoïdes, des prédateurs et des agents pathogènes ; ceux-ci incluent des bactéries, des champignons, des protozoaires, des virus et des nématodes entomopathogènes (Scholler et Flinn, 2000; Flinn et Schöller, 2012 ; Schöller et al., 2018). La majorité des parasitoïdes trouvés dans les produits stockés appartiennent à l'ordre des hyménoptères (Gorham, 1987; Gordh et Hartman, 1991; Haines, 1991). Ces insectes parasites sont des composants naturels des écosystèmes de stockage, certains étant potentiellement utiles comme agents de lutte biologique contre les ravageurs du stockage (Williams et Floyd, 1971 ; Eliopoulos et al., 2002).

Il a été démontré par exemple, que les parasites *Theocolax elegans* (Westwood) (Hymenoptera: Pteromalidae) et *Anisopteromalus calandrae* (Howard) (Hymenoptera : Thermalidae) suppriment efficacement les populations de certains insectes ravageurs dans les entrepôts de stockage (Sitthichaiyakul et Amornsaka, 2017 ; Adarkwah et al., 2019 ; Rahman et Islam, 2019 ; Sola et al., 2020). Flinn et Hagstrum (2002) ont signalé que les espèces *T. elegans* et *Chaetospita elegans* réduisaient les dommages causés par le petit foreur des grains, *R. dominica* (figure, 12). Les recherches sur les larves de *T. elegans* ont révélé la survie et la préférence du parasite pour le quatrième stade larvaire et la nymphe de l'hôte (Sharifi, 1972). En outre, *Lariophagus distinguendus* Förster (Hymenoptera, Pteromalidae) (figure, 12) est un ectoparasitoïde solitaire polyphage parasitant les larves et les pré-pupes de plusieurs espèces de coléoptères qui infestent les produits agricoles stockés dont *S.oryzae*, *R.dominica* et *C. maculatus* (Ahmed, 1996 ; Lucas et Riudavets, 2002 ; Menon et al., 2002 ; Steidle et Schöller, 2002 ; Adarkwah et al., 2012).

La punaise prédatrice de l'entrepôt, *Xylocoris flavipes* (Reuter) (Hemiptera: Anthocoridae) est un prédateur cosmopolite et connu pour son potentiel dans la lutte contre au moins 13

espèces d'insectes ravageurs des céréales stockées (Sarker et al., 2019). Ce prédateur hémiptère se nourrit d'œufs, de stades larvaires et de chrysalides de différentes espèces d'insectes (Le Cato et Collins, 1976 ; Rahman et al., 2009).

Des agents pathogènes tels que *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, *Nosema* spp. et *Mattesia* spp. ont également été étudiés, même si les essais sur le terrain sont limités (Brower et al., 1995). La bactérie *Bacillus thuringiensis* (Berliner) a été approuvée comme agent de protection des céréales (Domínguez-Arrizabalaga et al., 2020). Un contrôle efficace utilisant la bactérie *Bacillus thuringiensis* a été signalé contre les larves de coléoptères et de lépidoptères attaquant les produits stockés, mais une résistance a également été signalée (Kaelin et al., 1999).

D'autres pathogènes ont été signalés comme le virus de la granulose qui a été testé et qui est disponible dans le commerce pour lutter contre les mites des produits stockés sur les fruits secs et les noix, ou comme traitement dans les fissures et les crevasses des entrepôts de stockage (Vail, 1991) et les nématodes entomopathogènes (Nematoda: Heterorhabditidae et Steinernematidae) (Grewal, 2002).



Figure 12. Adulte de *Lariophagus distinguendus* (a) *Chaetospila elegans* (b) (G :40) (© S. Kerbel).

3.2.4. Utilisation des plantes insecticides

L'utilisation des substances végétales, en tant que biopesticides dans la protection des produits stockés, a été testée sous plusieurs formes: poudres de plantes (Ashouri et Shayesteh, 2010 ; Fernando et Karunaratne, 2013 ; Singh et al., 2017 ; ; Kłyś et al., 2019), extraits aqueux (Akhtar et al., 2013 ; Yankanchi, et al., 2014 ; Adel et al., 2015), huiles essentielles (Aref et al., 2015 ; Ebadollahi et Jalali Sendi, 2015 ; Isman, 2019) et huiles végétales (Haghtalab et al., 2009 ; Nana et al., 2014 ; Wanderley et al., 2019 ; Ekoja et Ogah, 2020 ;

Ekoja et al., 2020). Elles sont utilisées contre les ravageurs pour leurs effets répulsifs, de contact ou fumigant (Kpatinvoh et al., 2016). Les molécules actives peuvent varier d'une famille à une autre et à l'intérieur d'une même famille et la sensibilité peut différer pour un insecte donné d'un stade à un autre (Guèye et al., 2011).

De nombreux scientifiques d'Afrique du Nord s'intéressent davantage à la recherche sur l'efficacité insecticide des plantes aromatiques et médicinales comme alternatives de lutte contre les insectes ravageurs des produits stockés. A cet égard en Algérie, de nombreux travaux ont été consacrés à l'étude de l'activité biologique des matières d'origine végétale (Kellouche and Soltani, 2004 ; Toudert-Taleb, 2014 ; Hamdi et al., 2015 ; Bounoua et al., 2019 ; Nia et al, 2020 ; Kheloul, 2020 ;Yakhlef et al., 2020). C'est ainsi que Righi et al. (2018) ont mis en évidence la toxicité de trois plantes médicinales algériennes *Schinus molle* (L.), *Mentha rotundifolia* (L.) et *Satureja calamintha*. contre les adultes de *R. dominica*, les poudres ont exercé un effet biocide (1,2 g) avec un taux de mortalité variant de 75 à 96%, après 96 h de traitement. De plus, Abdelli et al. (2016) ont souligné l'efficacité de l'huile essentielle de *Mentha pulegium* L. contre *S. granarius* , une mortalité totale des adultes du ravageur a été observée après 4 jours d'exposition (dose = 20 µl/ ml d'acétone). De plus, Lougraimzi et al. (2018) ont rapporté que l'huile essentielle et la poudre de feuilles de *Mentha pulegium* présentaient une activité insecticide contre les adultes de *S. oryzae* et *T. castaneum*. Dans le même ordre d'idée, Aoues et al. (2017) ont rapporté que les huiles essentielles de *Cymbopogon schoenanthus* (L.), collectés dans six régions du vaste Sahara algérien, ont montré une puissante activité insecticide contre *C. maculatus*.

Les huiles végétales peuvent également être efficaces pour lutter contre les insectes et sont moins chères et plus facilement disponibles (Lal et Raj, 2012; Yallappa et al., 2012; Gemechu et al., 2013; Kumawat et Naga, 2013 ; Urrutia et al., 2021). Ces huiles végétales présentent des effets significatifs sur la mortalité des adultes et sur la ponte des femelles (Ait aider et al., 2016). C'est dans ce cadre qu'Ibrahim (2012), Akter et al. (2019), Khinchi et al. (2017) et Chakravarty et al. (2020) ont évalué l'activité biologique de diverses huiles végétales comestibles locales contre les bruches du niébé (*C. chinensis* et *C. maculatus*). Les travaux de Fekadu et al. (2012) ont démontré l'efficacité des huiles de graines de coton (*Gossypium hirsutum*) et de moutarde (*Brassica carinata*) contre *S. zeamais*. Par ailleurs, Rayhan et al. (2014) ont démontré la toxicité par contact des huiles de Karanja (*Pongamia pinnata*), de Mahogoni (*Swietenia mahagoni*), de Neem (*Azadirachta indica*), de Pithraj (*Aphanamixis polystachya*) et de Sesame (*Sesamum indicum*) vis-à-vis de *T. castaneum*. En

outre, Rahman et al. (2003) ont évalué l'effet des huiles de sésame et de carthame contre *S.granarius*.

Hagstrum et Athanassiou (2019) soulignent enfin la nécessité d'une gestion intégrée des denrées stockées basée sur la combinaison de plusieurs procédés de lutte afin de limiter les dégâts causés par les déprédateurs des denrées après la récolte.

Chapitre II

Tests de toxicité avec les huiles de grignons d'olives

1. Introduction

Généralement, l'extraction de l'huile d'olive par centrifugation à 3 phases, méthode la plus utilisée pour la production d'huile d'olive vierge, génèrent deux effluents, les margines qui sont à l'état liquide (50 %) et le grignon qui constitue la phase solide résiduelle (30 %) (Klen et Vodopivec, 2012 ; Kalogeropoulos et al., 2014 ; Nunes et al., 2018). Le grignon d'olive est principalement composé de la coque du noyau, réduite en morceaux (42-54 %), de la peau (10-11 %) et de la pulpe (21-33 %); il contient encore une teneur résiduelle en huile pouvant atteindre 8 % selon la technologie d'extraction (Akay et al., 2015 ; Ribeiro et al., 2020).

L'Algérie produit 4,9 millions de quintaux d'olives par an, dont environ 30 à 35% du poids total des olives sont rejetés sous forme de grignon d'olive (COI, 2018). Cela représente un enjeu environnemental important pour cette région, car cette grande quantité de déchets ne peut pas être stockée sous sa forme d'origine, pendant une période prolongée, en raison de son pH légèrement acide, de sa forte teneur en humidité et d'une très forte teneur en matière organique (lignine, hémicellulose et cellulose) (Lammi et al., 2019 ; Gómez-Cruz et al., 2020). Il est non biodégradable en raison de sa teneur importante en substances phénoliques solubles dans l'eau. En outre, le grignon d'olive contient des graisses, principalement des acides gras polyinsaturés, des protéines, des glucides hydrosolubles et il est riche en potassium et pauvre en phosphore et en micronutriments (Ayadi et al., 2020). La composition du grignon d'olive lui attribue des propriétés phytotoxiques et antimicrobiennes ; puisque le grignon d'olive est toujours riche en huile et en polyphénol, il augmente l'hydrophobicité du sol et le taux d'infiltration et diminue le taux de rétention d'eau en cas d'épandage sur le sol (Del Buono et al., 2011; Gigliotti et al., 2012; Proietti et al., 2015; Ameziane et al., 2020 ;). Pour toutes ces considérations, liées aux problèmes de gestion des déchets générés par le grignon d'olive, il est urgent d'explorer des alternatives pour les convertir en ressources de valeur (Christoforou et Fokaides , 2016 ; Nunes et al., 2016 ; Chanioti et Tzia, 2018 ; del Mar Contreras et al., 2019 ; Gómez-Cruz et al., 2020).

En Algérie, la valorisation d'un tel résidu est limitée ; il est principalement utilisé comme combustible dans les moulins à huile d'olive, comme amendement organique, en tant qu'additif pour les aliments du bétail ou pour subir une deuxième pression (Ferhat et al., 2017). Cette huile, associée à celle obtenue par extraction à l'hexane du sous-produit, correspond à l'huile de grignons d'olive brute (Meziane, 2013). L'extraction de l'huile de grignon est réalisée après réduction de la teneur en humidité du tourteau d'olive entre 5 et 10 % (Amarni et Kadi, 2010). L'huile extraite est considérée comme de qualité inférieure et

utilisée comme matière première pour la fabrication de savon ou à des fins industrielles. Il peut également être utilisé pour la consommation humaine après raffinage mais uniquement s'il est mélangé à une certaine quantité de huile d'olive vierge (Mateos et al., 2019).

L'utilisation de ces extraits obtenus avec des solvants permet sa valorisation par la récupération de son huile résiduelle (Meziane, 2013 ; Macedo et al., 2021).

Dans ce contexte, le présent chapitre a pour objectif , d'une part, d'extraire par solvant des huiles à partir des grignons d'olive, issues de 4 huileries modernes des régions de Tizi-Ouzou et de Bouira et, d'autre part , d'étudier pour la première fois l'impact des traitements avec ces extraits sur deux des principaux insectes ravageurs primaires des grains stockées, le charançon du riz, *S. oryzae* (L.) et le petit capucin des grains *R. dominica* infestant deux types de substrat alimentaire à savoir, le blé dur et le blé tendre.

2. Matériels animal et végétal

2.1. Insectes

Les adultes de *S.oryzae* et de *R. dominica* utilisés pour les tests biologiques proviennent des élevages de masse entretenus au sein du laboratoire, sur du blé entier, dans une étuve réglée à une température 30 ± 1 °C et une humidité relative de 70 ± 5 %, sous une obscurité continue.

La souche d'origine a été prélevée dans un entrepôt de stockage de grains de la coopérative des céréales et des légumes secs (CCLS) de Draa Ben Khedda (Tizi-Ouzou). Tous les individus utilisés dans les tests sont des adultes non sexés et âgés de 1 à 7 jours.

L'élevage de masse des deux insectes ravageurs est régulièrement renouvelé avec la mise en contact de nouveaux individus avec des graines de blé dur et de blé tendre dans des bocaux en verre.

2.2. Le substrat

Les grains utilisés dans les essais biologiques sont des semences de blé dur et de blé tendre local (*T. durum* et *T. aestivum*), exemptes d'infestation, non traitées et avec très peu d'impuretés. La teneur en humidité des deux substrats, déterminée par séchage à l'étuve, était comprise entre 11,0 et 11,8 %.

2.3. L'huile d'olive et les huiles de grignon d'olive

2..3.1. Définition

Le conseil oléicole international (COI) distingue deux types d'huiles : l'huile d'olive et l'huile de grignon d'olive.

L'huile d'olive est l'huile obtenue à partir du fruit de l'olivier cultivé (*Olea europaea* L.), à l'exclusion des huiles obtenues par solvant ou par des procédés de reestérification, et de tout

autre mélange avec les huiles d'autre nature. L'huile de grignon d'olive est l'huile obtenue par traitement aux solvants ou d'autres procédés physiques, des grignons d'olive, à l'exclusion des huiles obtenues par des procédés de réestérification et de tout mélange avec des huiles d'autre nature.

2.3.2. Classification des huiles d'olive et de grignons d'olive

Les huiles d'olives et de grignon d'olive sont commercialisées selon les dénominations et définition de la norme du conseil oléicole International (COI, 2018).

2.3.2.1. Huiles d'olives

- **Les huiles d'olive vierges** sont les huiles obtenues du fruit de l'olivier (*Olea europaea* L.) uniquement par des procédés mécaniques ou d'autres procédés physiques dans des conditions, thermiques notamment, qui n'entraînent pas d'altération de l'huile, et n'ayant subi aucun traitement autre que le lavage, la décantation, la centrifugation et la filtration. Elles sont classées et dénommées comme suit :

a. Les huiles d'olive vierges propres à la consommation en l'état : Elles comportent :

i. l'huile d'olive vierge extra : huile d'olive vierge dont l'acidité libre exprimée en acide oléique est au maximum de 0,80 g pour 100 g.

ii. l'huile d'olive vierge : huile d'olive vierge dont l'acidité libre exprimée en acide oléique est au maximum de 2,0 g pour 100 g.

iii. l'huile d'olive vierge courante : huile d'olive vierge dont l'acidité libre exprimée en acide oléique est au maximum de 3,3 g pour 100 g.

b. L'huile d'olive vierge impropre à la consommation en l'état, dénommée huile d'olive vierge lampante: Son acidité libre exprimée en acide oléique est supérieure à 3,3 g pour 100 g. Elle est destinée aux industries du raffinage ou à des usages techniques.

- **L'huile d'olive raffinée :** l'huile d'olive raffinée est l'huile obtenue des huiles d'olive vierges par des techniques de raffinage qui n'entraînent pas de modifications de la structure glycéridique initiale. Son acidité libre exprimée en acide oléique est au maximum de 0,30 g pour 100 g.

- **L'huile d'olive :** c'est une huile constituée par le coupage d'huile d'olive raffinée et d'huiles d'olive vierges propres à la consommation en l'état. Son acidité libre exprimée en acide oléique est au maximum de 1 g pour 100 g.

2.3.2.2. L'huile de grignons d'olive

a. **L'huile de grignons d'olive brute** : c'est une l'huile de grignons d'olive obtenue par traitement au solvant des grignons d'olive. Les huiles de grignons d'olive brutes nécessitent un raffinage chimique pour éliminer les composés responsables des couleurs et des saveurs indésirables et des composés affectant la stabilité de l'huile. Elle est destinée au raffinage en vue de son utilisation pour la consommation humaine ou à des usages techniques.

b. **L'huile de grignons d'olive raffinée** : est l'huile obtenue à partir de l'huile de grignons d'olive brute par des techniques de raffinage n'entraînant pas de modifications de la structure glycéridique initiale. Son acidité libre exprimée en acide oléique est au maximum de 0,30 g pour 100 g.

c. **L'huile de grignons d'olive** : cette huile est obtenue par le coupage de l'huile de grignons d'olive raffinée et d'huiles d'olive vierges propres à la consommation en l'état. Son acidité libre exprimée en acide oléique est au maximum de 1 g pour 100 g. Ce coupage ne peut en aucun cas être dénommé « huile d'olive ».

2.3.2. Critères de classification

La qualité commerciale des huiles d'olives et de grignon d'olive est définie, à l'échelle internationale, par la norme du Conseil Oléicole International (COI, 2018). Ces divers types de qualité sont définis en fonction de critères physico-chimiques et organoleptiques (annexe 2).

2.3.3. Composition en acide gras des huiles d'olive et de grignon d'olive

Le profil en acides gras de l'huile d'olive (Annexe 3) est caractérisé par la dominance de l'acide oléique (jusqu'à 80%), suivi, par l'acide linoléique (2,5 à 21 %) et l'acide palmitique (7.5-20 %). D'autres acides gras (stearique, palmetoleique, linoleique) sont présents à des faibles taux (Boucheffa et al., 2019 ; Bendi-Djelloul et al., 2020). La composition en acides gras de l'huile d'olive varie essentiellement en fonction de la région de production, de l'altitude, du climat, de la variété d'olive, et du stade de maturité du fruit (Mele et al., 2018).

Bien que l'huile de grignon d'olive ne diffère pas significativement de l'huile d'olive dans son profil en acides gras, de nombreuses études ont rapporté que l'huile de grignon d'olive a une teneur en insaponifiables plus élevée que l'huile d'olive (Sánchez-Gutiérrez et al., 2017 ; Mateos et al., 2019 ; Spizzirri, et al., 2020); il est en particulier, plus riche en stérols et en acides gras polyinsaturés comme l'acide linoléique (Ruiz-Mendez et Ramos-Hinojosa, 2003 ; Giuffrè et al., 2020). Les limites de la composition en acide gars établies par le COI sont données dans l'annexe 3.

3. Méthodes

Six produits ont servi à la réalisation du présent travail, quatre huiles de grignons d'olive brutes (HGB), une huile de grignon raffinée (huile commerciale) et une huile d'olive extra-vierge (HOVE). L'huile de grignon raffinée (HGR) est une huile commerciale (Mystic Moments, Fordingbridge SP6 1PA, U.K.), acquise de Sigma-Aldrich (France). Tous les échantillons d'huiles ont été stockés dans des bouteilles en verre fumé au réfrigérateur à 4 ° C jusqu'à leur utilisation.

3.1. Huile d'olive

3.1.1. Échantillonnage

L'huile d'olive est obtenue à partir d'olives de la variété Chemlal, récoltés à la main dans un verger situé dans la région de Tizi-Ouzou (Tadmait), à 100 Km au sud Est d'Alger, durant la campagne oléicole 2016-2017. Les olives récoltées ont été prélevées suivant la méthode d'échantillonnage préconisée par le Conseil Oléicole International (COI, 2011).

L'échantillonnage consiste à récolter sur dix arbres choisis aléatoirement, 2 kg d'olives, de l'intérieur et de l'extérieur des oliviers, à la fin du mois de novembre. L'extraction de l'huile est effectuée dans les 48 h suivant la récolte des olives.

3.1.2. Extraction de l'huile avec l'oléodoseur

L'huile d'olive est extraite à l'aide d'un oléodoseur (S.I.O.L. 20240 GHISONACCIA, France) dans les 48 h suivant la récolte, à l'Institut technique de l'arboriculture fruitière et de la vigne (ITAFV de Takrietz, Bejaïa). Cette unité est équipée d'un broyeur à marteaux, d'un malaxeur et d'une centrifugeuse. L'huile a été séparée des margines par décantation.

Après la récolte, les olives fraîches ont été lavées, égouttées et broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux sans adjonction d'eau. Ensuite, la pâte d'olive obtenue est placée dans des récipients en acier inoxydable, à raison de 900 g chacun, pour subir un malaxage pendant 30 mn. Après malaxage, la pâte d'olive est centrifugée à 3000 tr/min pendant 3 min, à l'issue de laquelle l'huile et les margines sont séparés du grignon d'olive. Ensuite, le mélange huile/marges est laissé décanter dans des éprouvettes graduées, l'huile se sépare ainsi des marges par différence de densité, puis récupérée et conditionnée dans des bouteilles en verre opaque (250 ml). Enfin, l'échantillon d'huile est conservé à l'abri de la lumière et au réfrigérateur à 4°C, jusqu'au moment de l'analyse (annexe 4).

3.2. Huiles de grignons

3.2.1. Échantillonnage

Les échantillons de grignon d'olive ayant servi à l'extraction des huiles ont été prélevés directement des huileries à chaîne continue (avec un système de centrifugation à trois

phases), dans quatre localités de la Kabylie : Tadmait (3.98778 36° 36' 44" Nord, 3° 59' 16" Est), Maatkas (3.90186 36° 44' 34" Nord, 3° 54' 7" Est), M'Chedellah (4.24858 36° 23' 50" Nord, 4° 14' 55" Est) et Bechloul (4.06667 36° 19' 0" Nord, 4° 4' 0" Est), durant la campagne oléicole 2016 (Décembre). Les olives triturées proviennent toutes de la variété Chemlal. Les Maasra ont été choisies d'une manière aléatoire et les échantillons ont été prélevés au hasard.

3.2.2. Opérations préliminaires

3.2.2.1. Détermination de la teneur en humidité

L'humidité initiale du grignon d'olive utilisé ainsi que son humidité après séchage sont déterminées suivant la norme Française NFV 03.921 (tableau 1). Le principe consiste à prendre une masse M1 d'échantillon et la porter à une température de 103± 1 °C dans une étuve obscure, jusqu'à l'obtention d'une masse constante. L'humidité est calculée en utilisant la relation suivante :

$$\text{Humidité(\%)} = \left(\frac{M1 - M2}{M1} \right) \times 100$$

M1 : masse de la prise d'essai avant séchage (g)

M2 : masse de la prise d'essais après séchage

La prise d'essai est de 10g et la valeur de l'humidité présentée est la moyenne de 3 déterminations.

3.2.2.2. Séchage

Le séchage consiste à réduire la teneur en humidité dans les grignons afin d'avoir un meilleur transfert de matière lors du processus d'extraction et éviter le développement des moisissures (Koukouch et al., 2017 ; Baysan et al., 2020). Il est effectué d'abord par étalement de la matière première à l'air libre en une couche mince de 1 à 2 cm, puis dans une étuve portée à 60 ± 1 °C pour atteindre une humidité résiduelle d'environ 8 % (tableau 1).

L'humidité des échantillons de grignon d'olive frais varie de 40.0 à 51.32%. Celle – ci est ramenée à 6.38 à 7.77 % (tableau 1).

Les grignons homogénéisés et classés selon leur provenance sont répartis en fractions de 50 g dans des sacs en plastique. Ces sacs sont congelés à -4 °C jusqu'à leur utilisation.

3.2.2.3. Extraction des huiles de grignons d'olive

L'huile résiduelle est extraite des grignons à l'aide d'un solvant organique, l'hexane (95%), dans un appareil de type Soxhlet (250 ml). L'extraction est réalisée conformément à la

méthode décrite par le règlement 2568/91 de la CEE, appliquée au grignon d'olive. En résumé, cette technique consiste à utiliser une cartouche en cellulose contenant la prise d'essai de 20 g de grignon d'olive qui sera introduite à l'intérieur d'un tube en verre appelé extracteur, ce dernier est relié par sa partie supérieure à un réfrigérant et par sa partie inférieure à un ballon de 250 ml contenant le solvant. L'ensemble est chauffé à une température fixée de manière à obtenir un reflux modéré (80 °C).

La prise d'essai soumise à l'extraction est de 20 g. La séparation de l'huile du solvant se fait par distillation à l'aide d'un évaporateur rotatif (80°C) (Make: BUCHI; Model: Rotavapor R-3). Les dernières traces de solvant sont éliminées en procédant à des passages successifs de l'huile extraite dans une étuve portée à 60 °C $\pm$ 2 °C, jusqu'à obtention d'un poids constant. Enfin, les huiles récupérées sont conservées dans des tubes fermés, au réfrigérateur à 4°C, jusqu'à leur utilisation. Ces échantillons ont été désignés par HGB1(Tadmait), HGB2 (Maatkas), HGB3 (M'Chedellah) et HGB4 (Bechloul). Le flowsheet du procédé de la récupération par solvant de cette huile résiduelle est donné dans la figure 13.

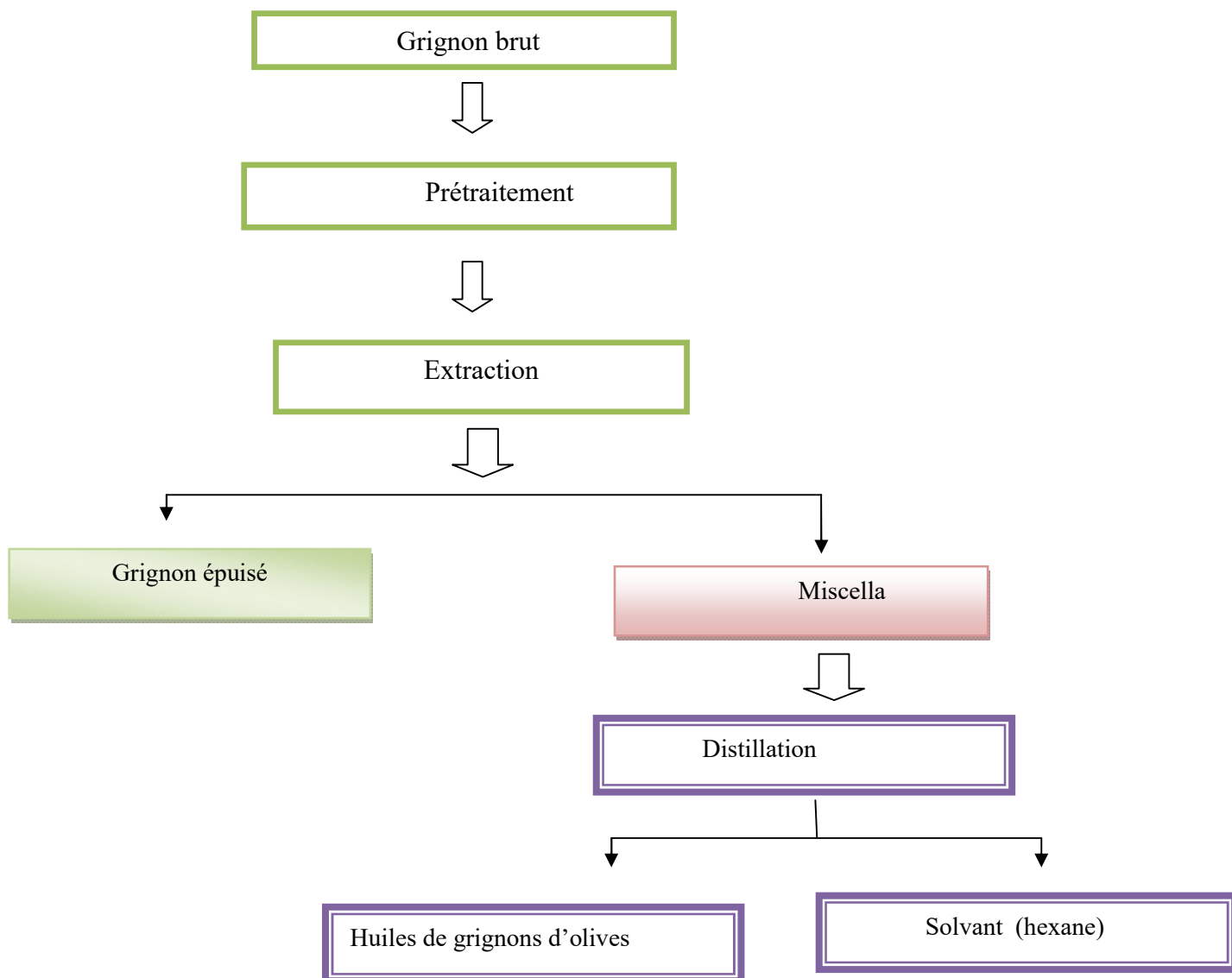


Figure 13. Schéma de récupération de l'huile à partir de nos échantillons de grignon d'olive (Originale, 2021).

3.2.2.4. Rendement de l'extraction

Le rendement de l'extraction est exprimé par rapport à la matière sèche :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{m_1}{m_2} \times 100$$

Où : m_1 (g) : masse de l'huile extraite

m_2 (g) : masse de la prise d'essai (grignon)

La prise d'essai soumise à l'extraction est de 20 g. La teneur en huile obtenue varie de 5.45 (Maatkas) à 7.42 % (Tadmaït) (tableau 1). Cette valeur représente une moyenne de 10 essais.

Tableau 1. Humidité (%) et teneur en matière grasse (% de l'échantillon sec) des échantillons de grignons d'olive (Moyenne $\pm$ ET)

Origine des grignons	Humidité initiale (%)	Humidité après séchage (%)	Teneur en huile (%)
Tadmaït	51.32 $\pm$ 1.03	6.38 $\pm$ 0.56	7.42 $\pm$ 0.90 (a)
Maatkas	46.63 $\pm$ 1.04	6.46 $\pm$ 0.39	5.45 $\pm$ 0.66 (b)
M'Chedellah	43.97 $\pm$ 0.49	7.253 $\pm$ 0.08	5.89 $\pm$ 0.85 (b)
Bechloul	40.00 $\pm$ 0.78	7.77 $\pm$ 0.10	5.53 $\pm$ 0.87 (b)

3.2.2.5. Solvant d'extraction

Le solvant utilisé pour toutes les extractions effectuées est l'hexane d'une pureté de 95%. Les caractéristiques physico-chimiques de l'hexane sont résumées dans le tableau 2 (Belwal et al., 2018).

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques de l'hexane

	PM	Teb (°C)	D ₄ ²⁰	IR	Point de congélation	Pression de vapeur	Solubilité dans l'eau	Apparence et odeur
Hexane (C₆H₁₄)	86.17	68.7	0.6603	1.3680	-95	150 mmHg à 25 °C	Insoluble	Liquide clair Odeur désagréable

3.3. Analyse des huiles

-Analyses physico-chimiques des l'huiles

Tous les échantillons d'huile de grignons (brute et raffinée) et de l'huile d'olive ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques ; l'acidité libre (%), l'indice de peroxyde (IP) et les coefficients d'extinction (K_{232} , K_{270}), selon les méthodes analytiques décrites dans le règlement CEE 2568/91 (EEC, 2001) (Annexes 5, 6 et 7). L'acidité libre a été exprimée en pourcentage d'acide oléique, IP est exprimé en mEq d'O₂/kg d'huile (mEq O₂ / kg) et les coefficients d'extinction, K_{232} et K_{270} , ont été calculés à partir de l'absorption à 232 et 270 nm, respectivement.

- Profil en acides gras

La composition en acides gras a été effectuée par chromatographie en phase gazeuse (CPG), à l'E.N.S.A. d'El Harrach, conformément à la norme CEE (2568/91), après estérification des acides gras, par agitation vigoureuse d'une solution d'huile dans l'hexane (0,1 g dans 2 ml) avec 0,2 ml d'hydroxyde de potassium méthanolique 2 N (ISO 5509 : 2000, point 5 Méthode UICPA 2.301). Le chromatographe utilisé est de type Chrompack ((Chrompack CP 9002 , Varian Inc, Holland), équipé d'un injecteur split / splitless et d'un détecteur à ionisation de flamme (FID). Les analytes ont été séparés sur colonne capillaire DB23 (50% cyanopropyle) (30 m x 0,32 mm, 0,25 µm d'épaisseur; Agilent Technologies, Palo Alto, Californie, USA). De l'azote a été utilisé comme gaz vecteur. Le volume d'injection dans un port GC séparé était de 0,5 µl.. Les températures du four, du FID et des injecteurs étaient respectivement de 220, 280 et 260 ° C. Les acides gras sont identifiés en fonction de leur temps de rétention au niveau de la colonne par comparaison à des acides gras étalons. La détermination de la teneur de chaque acide gras identifié est faite par le calcul des aires des pics correspondants.

Trois répétitions pour chaque paramètre ont été effectuées, sauf pour la composition en acides gras (une répétition a été préparée et analysée par échantillon).

3.4. Les tests de toxicité par contact

Les tests biologiques ont été réalisés dans une étuve où règnent les conditions décrites précédemment. Les huiles végétales ont été appliquées à trois doses différentes: 0,1, 0,2 et 0,4 ml/25 g de grains de blé (dur ou tendre) (Kellouche et al., 2004). Pour chaque essai (combinaison huile-dose-substrat), 25 g de grains ont été traités avec la quantité d'huile requise. Chaque échantillon a été introduit, séparément pour chaque combinaison, dans des boîtes de Pétri en verre (13 cm de diamètre et 3 cm de hauteur), qui ont été agitées

manuellement, pendant environ 15 min, pour obtenir une répartition homogène de l'huile sur l'ensemble des grains. Une série de lots de blé non traité a été utilisée comme témoin. 20 adultes de *S. oryzae* ou de *R. dominica* ont été introduits dans chaque boîte. Pour chaque test (un insecte, un substrat, une huile et une dose), le nombre de répétitions est de quatre.

Après le lancement de chaque test, la mortalité des insectes a été évaluée après 24 h, 48 h, 72 h et 96 h pour chaque espèce (mortalité cumulée) (Kellouche et al., 2004) et le pourcentage de mortalité corrigée a été déterminé selon la formule d'Abbott (Abbott, 1925). Les insectes morts des lots de grains de blé traités à l'huile ont montré des signes d'immobilisation rapide, les pattes fléchies et raidies et des antennes immobiles. Les DL_{50} ont été déterminées à partir de la mortalité cumulée durant 72 h (Finney, 1971; Abdelli et al. 2016).

3.5. Effectif des descendants de la première génération

Après le dernier dénombrement, tous les adultes (morts et vivants) ont été retirés et les boîtes ont été maintenues dans l'étuve pendant une période supplémentaire de 45 jours. Ensuite, les individus émergés, de la génération F1, de *S. oryzae* et de *R. dominica* ont été dénombrés quotidiennement.

3.6. La perte en poids des graines

Après l'émergence des adultes, les graines ont été pesées pour évaluer les pertes en poids causées par les deux ravageurs. La perte de poids a été calculée selon la formule de Khare et Johari (1984) : % de perte de poids = (poids sec initial – poids sec final / poids sec initial) x 100.

3.7. Le taux de germination des graines

Pour déterminer l'effet des huiles étudiées sur le taux de germination des graines de blé, nous avons procédé comme suit : 50 grains ont été prélevés de manière aléatoire dans les lots de grains traités et non traités. Les graines ont été placées sur du coton humide dans des boîtes de Pétri en verre (13 cm de diamètre et 3 cm de hauteur) et conservées pendant 7 jours à la température ambiante (28 à 32 ° C). Le pourcentage de germination a été calculé comme suit: (nombre de graines germées / nombre total de graines) × 100 (Nikpay, 2006).

4. Analyse des données.

Tous les résultats ont été exprimés en valeur moyenne ± Écart type (ET). L'analyse des données a été effectuée en utilisant le logiciel R. Les tests de normalité ont été appliqués à l'aide du test d'Anderson-Darling. Les données n'étaient pas normalement distribuées (tableau 3) et des tests non paramétriques ont été effectués (test de Kruskal -Wallis), avec la mortalité

des insectes comme variable de réponse et le type d'huile, l'espèce d'insecte, la dose, la durée d'exposition, le substrat comme principaux facteurs. Le même test a été effectué pour les émergences des deux insectes, les pertes en poids et le taux de germination des grains, avec le substrat, le type d'huile et la dose comme principaux facteurs. Le test U de Mann – Whitney a été réalisé pour évaluer les différences entre différents groupes. Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives lorsque $P < 0.05$ (Dagnelie, 2012).

Tableau 3. Test de normalité d Anderson-Darling

Variables	<i>P</i>	Decision
Taux de mortalité (%)	$< 2.2e-16$	Non- normalité
Émergences	$< 2.2e-16$	Non- normalité
Pertes en poids (%)	$< 2.2e-16$	Non- normalité
Taux de germination (%)	$1.287e-06$	Non- normalité

5. Résultats

5.1. Résultats de la caractérisation et du profil en acides gras des six huiles

- Indices de qualité

Les résultats obtenus (tableau 4) montrent que pour l'échantillon d'huile d'olive et de l'huile de grignon raffinée, l'acidité libre, l'indice de peroxyde (IP) et les absorptions spécifiques à 232 et 270 nm se situent généralement dans les limites légales de la catégorie HOVE et HGR, respectivement (tableau 4). L'acidité des huiles de grignons brutes varie de 11.48 % (HGB4) à 34.13 % (HGB2). Cette augmentation de l'acidité est due à l'hydrolyse des triglycérides influencée par la température de séchage et de l'extraction du grignon, la durée relativement longue de l'extraction et par la nature du solvant (Kmieciak et al., 1991; Kadi et al., 2016 ; Gómez-de la Cruz et al., 2020). De plus, IP et K_{232} ont été utilisés comme indicateurs de l'oxydation primaire des l'huiles de grignons. Par contre, K_{270} était un autre paramètre de qualité évalué et considéré comme un indicateur d'oxydation secondaire. Les valeurs de l'indice de peroxyde, de K_{232} et de K_{270} , varient de 23.46 à 50.65, de 3.05 à 4.05 et de 0.55 à 1.06, respectivement. Les caractéristiques chimiques des huiles de grignons d'olive

brutes sont similaires à celles rapportées par d'autres auteurs (Gomes et Caponio 1997, 1998; Amarni et Kadi, 2010; Yanik, 2017).

-Acides gras

L'analyse des acides gras (tableau 4) des huiles de grignons d'olive brutes et raffinée, ainsi que celle de l'huile d'olive correspondent à la plage normale attendue pour l'HOVE (EEC, 2001). Les principaux acides gras sont l'acide oléique (61.89 à 79.25 %), l'acide palmitique (8.34 à 15.71 %) et l'acide linoléique (8.17 à 16.52 %). Les acides palmitoléique, stéarique et linolénique ont également été détectés mais en petites quantités (tableau 4).

.I

Tableau 4. Indices de qualité des huiles extraites (acidité libre, l'indice de peroxyde, absorptions spécifiques à 232 et 270 nm) et le profil en acide gras des huiles de grignon brutes et raffinée et de l'huile d'olive vierge-extra de la variété Chemlal.

Paramètres ^a	HGB1	HGB2	HGB3	HGB4	HGR	HOVE	Normes du COI		
							HGB	HGR	HOVE
acidité (% acide oléique)	13.98 ± 0.71 (c)	34.13 ± 0.04 (a)	33.28 ± 0.06 (b)	11.48 ± 0.35 (d)	2.19 ± 0.04 (e)	0.43 ± 0.22 (f)	-	≤ 0.3	≤ 0.8
IP (mEq g O₂/kg d'huile)	42.02 ± 0.03 (b)	50.65 ± 0.19 (a)	23.46 ± 0.001 (d)	35.05 ± 0.00 (c)	3.39 ± 0.04 (f)	10.83 ± 0.76 (e)	-	≤ 5.0	≤ 20
K₂₃₂	3.13 ± 0.21 (c)	3.14 ± 0.08 (c)	3.05 ± 0.01 (c)	4.05 ± 0.01 (a)	0.82 ± 0.02 (b)	0.98 ± 0.05 (b)	-	-	≤ 2.50
K₂₇₀	1.06 ± 0.32 (a)	0.55 ± 0.02 (c)	0.72 ± 0.01 (c)	0.77 ± 0.01 (c)	0.26 ± 0.01 (b)	0.21 ± 0.008 (b)	-	≤ 2.0	≤ 0.22
Composition en acides gras (%)									
C16:0	11.46	15.71	15.54	14.88	8.34	15.06	-	-	7.5 - 20.0
C16:1	1.83	1.97	2.01	2.11	0.18	1.94	-	-	0.3 - 3.5
C18:0	2.97	2.77	2.17	2.46	2.86	2.67	-	-	0.5 - 5
C18:1	64.09	65.10	63.95	61.89	79.25	66.44	-	-	55 - 83
C18:2	13.63	12.56	14.83	16.52	8.17	11.97	-	-	2.5 - 21.0
C18:3	0.56	0.58	0.57	0.53	0.32	0.46	-	-	≤ 1.0
C20:0	0.66	0.51	0.54	0.71	0.08	0.71	-	-	≤ 0.6
C20:1	0.55	0.46	0.34	0.42	0.27	0.40	-	-	≤ 0.5
C22:0	0.25	0.26	trace	0.22	0.48	0.12	-	-	≤ 0.2
AGMI/AGPI	4.68	5.13	4.30	3.78	9.39	5.53	-	-	-
A.oléique/ A.linoléique	4.70	5.18	4.31	3.74	9.70	5.55	-	-	-
AGI/AGS	5.26	4.19	4.48	4.46	7.50	4.38	-	-	-

^aC16:0, acide palmitique; C16:1, acide palmitoléique; C18:0, acide stéarique; C18:1, acide oléique; C18:2, acide linoléique; C18:3, acide alpha linoléique; C20:0, acide Arachidique; C20:1, acide eicosénoïque; C22:0, acide behénique; AGMI/AGPI, acides gras monoinsaturés/ acides gras polyinsaturés; AGI/AGS, acides gras insaturés/acides gras saturés.

5.2. Résultats des tests par contact sur les adultes de *R. dominica* et de *S. Oryzae*

Les résultats ont montré que la dose ($P = 2.2e-16$), la durée d'exposition ($P = 1.63e-13$) et l'espèce d'insecte ($P = 3.28e-09$) influencent significativement le taux de mortalité ($P < 0.001$), alors que la nature du substrat ($P = 0.36$) n'a pas agi sur ce paramètre. Les box-plots pour la mortalité en fonction du type de traitement, de la dose, du temps d'exposition, du substrat et de l'espèce d'insectes sont illustrés par la figure 14a.

Mortalité de *R. dominica*

D'après les résultats obtenus (figure 15), nous constatons qu'après 24 h d'exposition, toutes les huiles testées (HGB et HGR) à la plus forte dose (0,4 ml/25 g), à l'exception du traitement avec l'huile d'olive, ont provoqué une mortalité totale (100 %) chez les adultes de *R. dominica*, en présence des semences de blé dur. En effet, pour cette huile, le même résultat est obtenu après 72 h d'exposition. Dans le cas du blé tendre, les six traitements présentent une évolution similaire des taux de mortalité que celle observée en présence des semences de blé dur ; cependant, aucun produit n'a provoqué une mortalité totale des adultes de *R. dominica*, même après 96 h d'exposition, à l'exception de l'huile de HGR, testée à la plus forte dose (0,4 ml/25g) (figure. 16). Pour les deux substrats testés, la longévité des adultes de *R. dominica*, traités aux huiles HGB, HGR et à HOVE, à la plus faible dose (0,1 ml/25 g), reste élevée, même après 96 h d'exposition (figure 15 et 16).

Mortalité de *S. Oryzae*

Il ressort des résultats obtenus (figure 15), qu'après 24 h d'exposition, tous les adultes de *S. oryzae* sont morts en présence du blé dur traité avec l'huile d'olive et avec l'huile de grignon raffinée, à la plus forte dose (0,4 ml/25g). Pour les huiles de grignon brutes, la mortalité augmente avec la durée d'exposition et atteint généralement 100 % après 72 h. Une évolution similaire des taux de mortalité ont également été enregistrés dans le cas du blé tendre, mais après 96 h d'exposition (figure 16). Contrairement au petit capucin des grains, toutes les huiles testées, à la plus faible dose (0,1 ml/25 g) sur les deux substrats, provoquent une mortalité supérieure à 47 % à partir de 96 h, à l'exception de l'huile HGB4, causant une faible mortalité des charançons (< 19 %) (figure 15 et 16). Ces données révèlent que, parmi les deux coléoptères étudiés, *S. oryzae* a été plus sensible que *R. dominica* aux différents traitements (figure 15 et 16). L'ordre de la toxicité des six huiles, tenant compte des DL_{50} (ml/25g) calculées après 72 h d'exposition est présenté dans le tableau 5. Par exemple, dans le cas de *S. oryzae* infestant le blé dur, l'ordre de toxicité est le suivant : HOVE (0.025), HGB3 (0.038), HGR (0.059), HGB1 (0.076), HGB2 (0.120), HGB4 (0.180). Par contre, pour *R. dominica*, l'ordre de toxicité est : HOVE (0.183), HGB4 (0.198), HGR (0.210), HGB3

(0.211), HGB1 (0.220), HGB2 (0.227). Dans le cas de *S. oryzae* infestant le blé dur et le blé tendre, l'HOVE a montré l'effet insecticide le plus marqué. Par contre, pour *R. dominica*, toutes les substances testées sont moins toxiques, comparativement à *S. oryzae* (tableau 5).

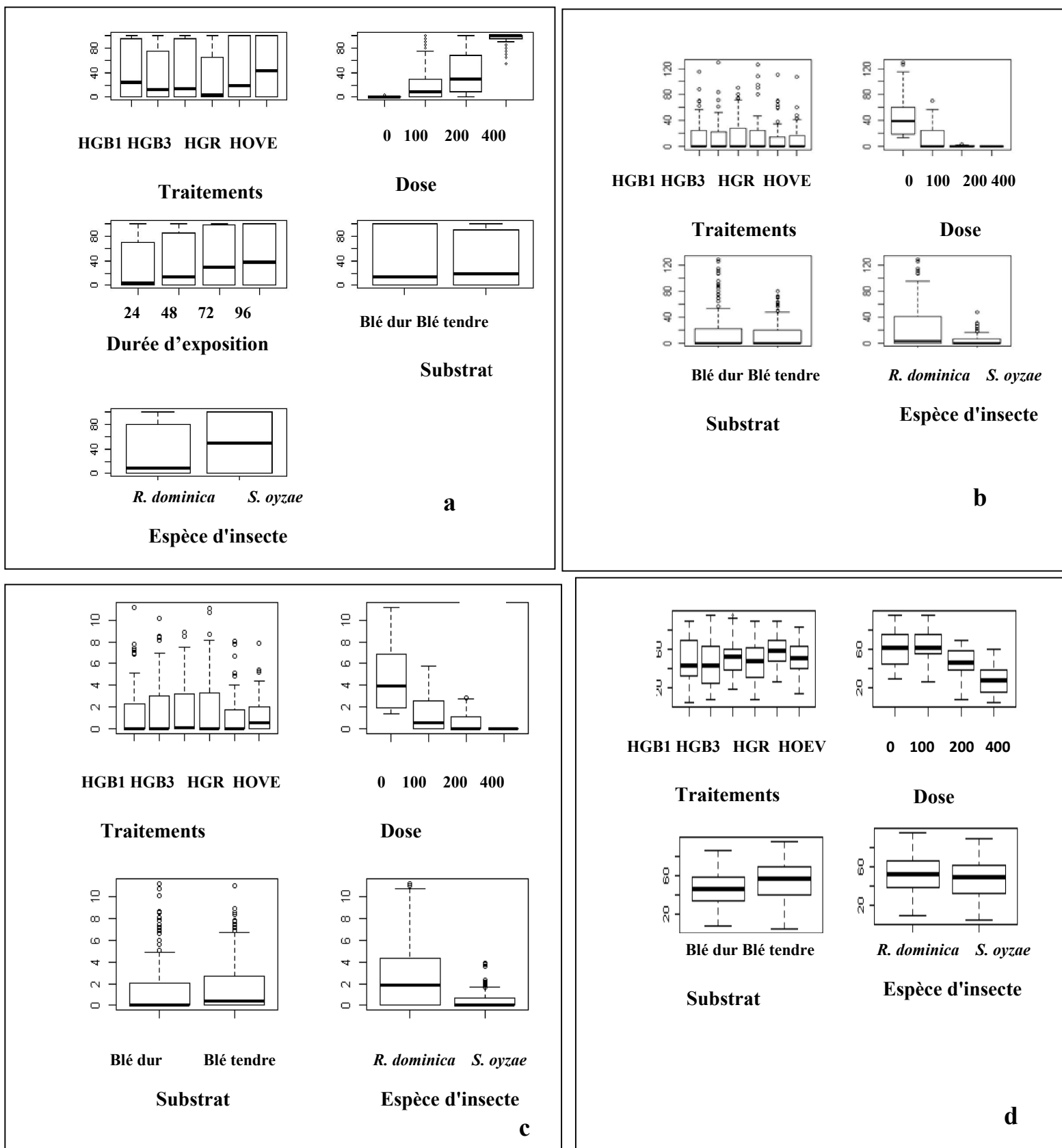


Figure 14. Fluctuations des valeurs du taux de mortalité (a), nombre de descendants (b), perte de poids (c) et de taux de germination (d) en fonction du type de traitement, de la dose, du temps d'exposition (pour la mortalité), du substrat et de l'espèce d'insecte. Les boîtes à moustaches illustrent la médiane (barre médiane dans la boîte), les 25 e et 75 e centiles.

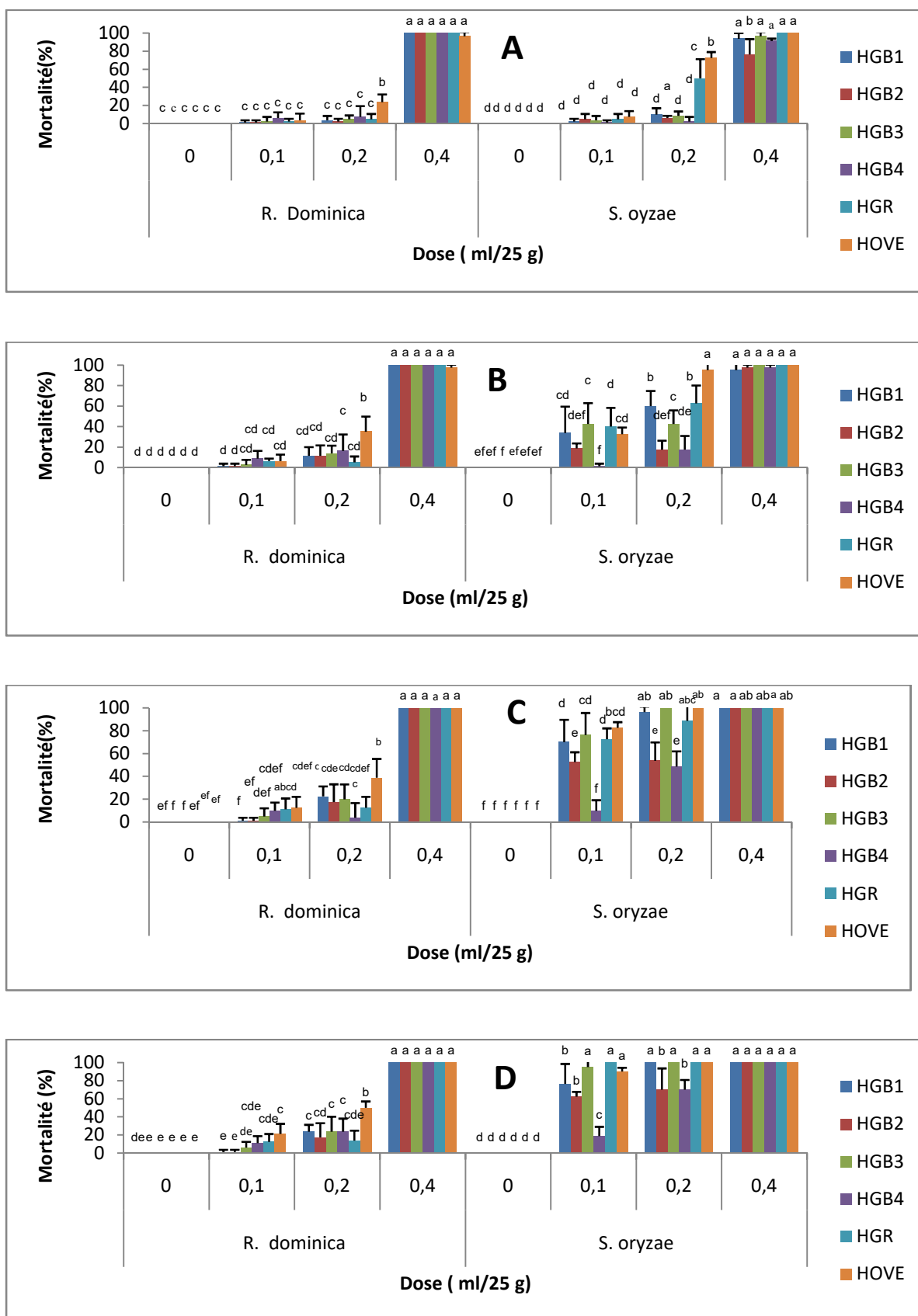


Figure 15. Pourcentage de mortalité cumulée (% $\pm$ ET) des adultes de *R. dominica* et *S. oryzae* exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé dur traités avec les six huiles (les barres avec la même lettre ne sont pas significativement différentes; test de Dunn à $P = 0,05$).

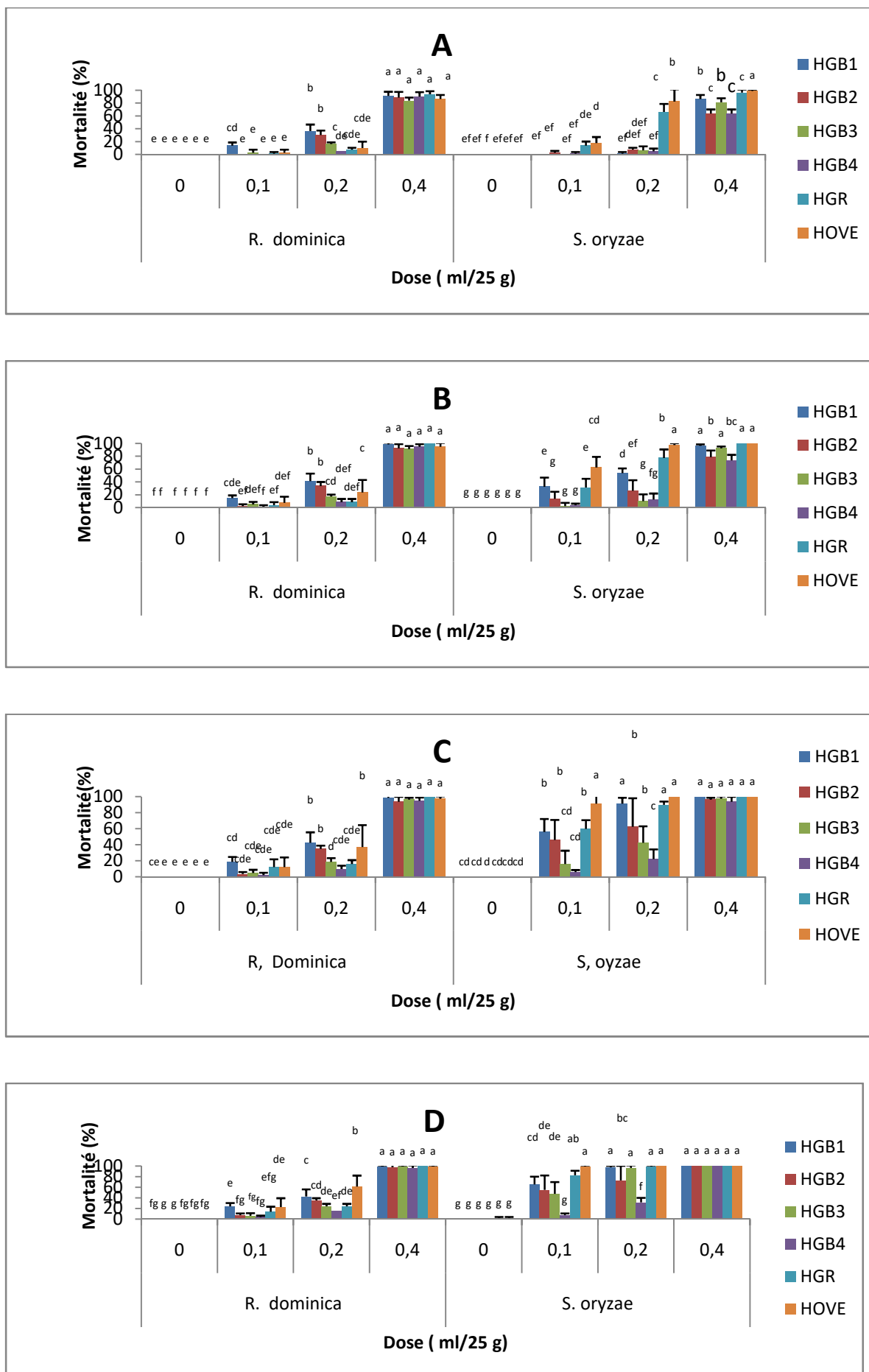


Figure 16. Pourcentage de mortalité cumulée (% $\pm$ SE) des adultes de *R. dominica* et *S. oryzae* exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé tendre traités avec les six huiles (les barres suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes; test de Dunn à $P = 0,05$).

Tableau 5. Toxicité par contact (DL₅₀ médiane) des six huiles vis-à-vis des adultes de *S. oryzae* et de *R. dominica* infestant les graines de blé dur et de blé tendre, après 72 h d'exposition

Espèce d'insectes	Substrat alimentaire	HGB1	HGB2	HGB3	HGB4	HGR	HOVE
		DL ₅₀ (ml/25 g)					
<i>S. oryzae</i>	Blé dur	0.076	0.12	0.038	0.180	0.059	0.025
	Blé tendre	0.084	0.122	0.178	0.224	0.079	0.005
<i>R. dominica</i>	Blé dur	0.22	0.227	0.211	0.198	0.210	0.183
	Blé tendre	0.17	0.217	0.222	0.247	0.203	0.189

5.3. Taux d'émergence des adultes de la première génération de *R. dominica* et de *S. oryzae*

L'effectif de la descendance a été significativement affecté par le facteur espèce d'insecte ($P < 2.2 \times 10^{-16}$), la dose de traitement ($P < 2.2 \times 10^{-16}$) et le type de traitement ($P = 0.036$).

Cependant, la nature de la substance testée n'a pas eu d'impact significatif ($P = 0.78$). Les box-plots pour la production de la descendance en fonction du type de traitement, de la dose, du substrat et de l'espèce d'insecte sont illustrés par la figure 14b.

Pour les deux substrats testés, le nombre de descendants, dans les lots non traités (contrôle) varie de 40.25 à 105.0 chez *R. dominica* et de 20.25 à 27.00 chez *S. oryzae* (figure 17, A et B). Les résultats obtenus (figure 17, A et B) montrent que pour les deux modèles biologiques étudiés, une réduction notable du nombre d'adultes émergents a été constatée dans tous les lots traités, comparativement aux témoins. Ainsi, pour *R. dominica* infestant les deux substrats, la viabilité des adultes diminue progressivement avec l'augmentation de la dose ; la descendance est nulle dans les traitements effectués avec l'huile de grignon raffinée, aux doses supérieures à 0,2 ml/25 g et à la dose 0,4 ml/25 g, pour les traitements aux huiles de grignons brutes et à l'huile d'olive, respectivement.

Pour *S. oryzae*, aucune descendance n'a été également observée avec des semences de blé dur et de blé tendre traitées avec les huiles de grignons brutes, l'huile raffinée et l'huile d'olive, à la plus faible dose de 0,1 ml/25 g (figure 17).

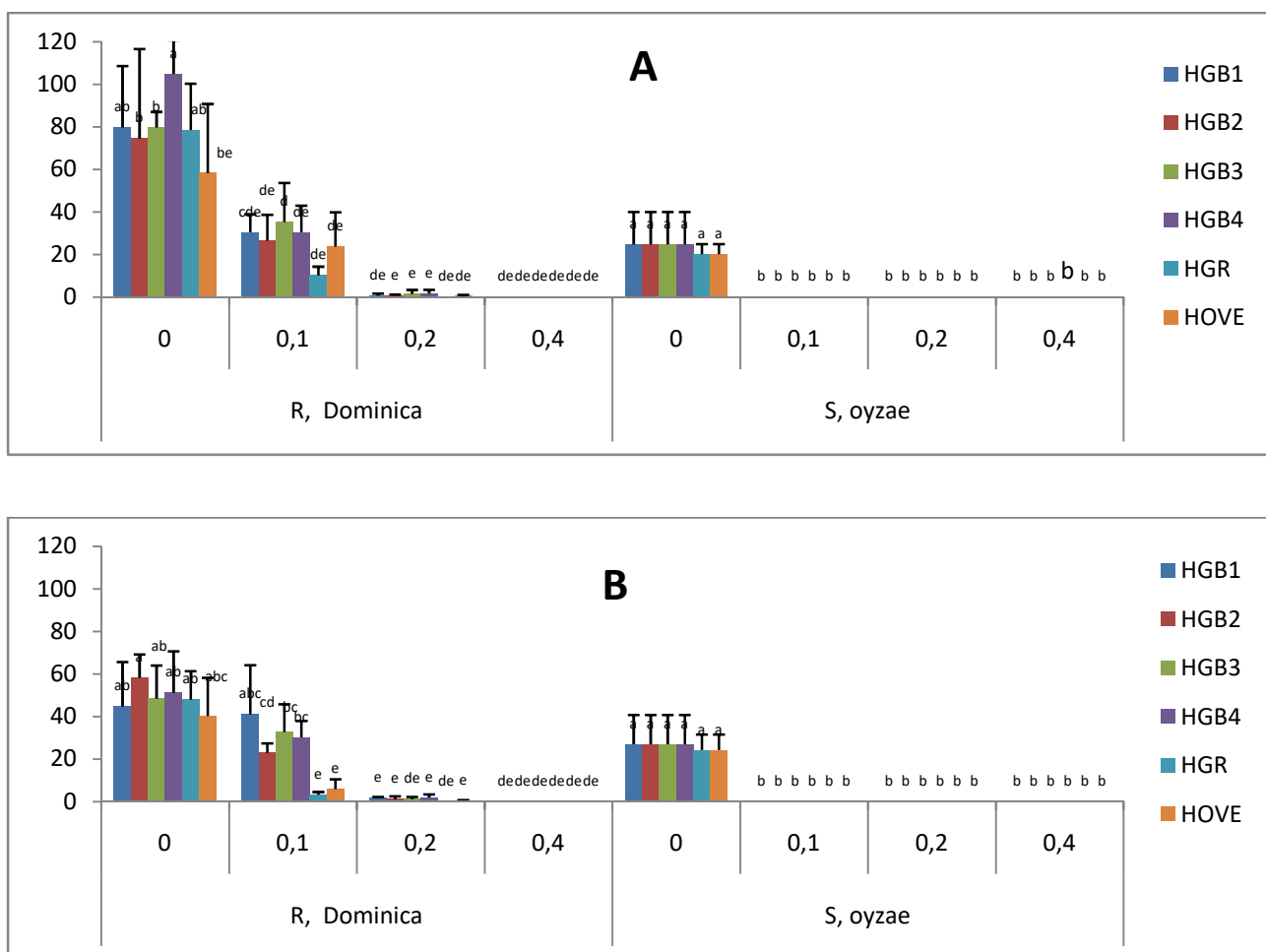


Figure 17. Effectif de descendants (nombre d'individus $\pm$ ET) sur blé dur (A) et tendre (B) traités avec les six huiles chez *R. dominica* et *S. oryzae* (les barres suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes; test de Dunn à $P = 0,05$).

5.4. Effet des six traitements sur la perte en poids des graines

La perte en poids des graines infestées dépend, de façon significative, de l'espèce d'insecte ravageur ($P < 2.2e-16$), de la dose de traitement ($P < 2.2e-16$) et du substrat infesté ($P = 0.027$). Cependant, la nature de la substance testée n'agit pas sur cette variable ($P = 0.20$). Les boxplots pour la perte de poids du grain en fonction du type de traitement, de la dose, du substrat et de l'espèce d'insecte sont illustrées par la figure. 14c.

Les résultats (figure 18, A et B) montrent que, pour les deux substrats testés, les pertes pondérales les plus importantes ont été observées dans les lots non traités et infestés, elles varient respectivement de 4.30 à 8.68 % et de 1.71 à 2.75 %, selon l'espèce de ravageur, *R.*

dominica ou *S. oryzae*, respectivement. Les graines traitées aux huiles de grignons brutes, à l'huile de grignon raffinée et à l'huile d'olive subissent des pertes en poids qui diminuent au fur à mesure que la dose de traitement augmente. Pour l'ensemble des huiles testées, le traitement avec la plus forte dose (0,4 ml/25g) préserve complètement les semences de blé des attaques de *R. dominica*. Dans le cas de *S. oryzae*, aucune perte en poids n'a été enregistrée dans les lots traités avec la plus faible dose de 0,1ml/25g, dans l'ensemble des tests (figure 18, A et B).

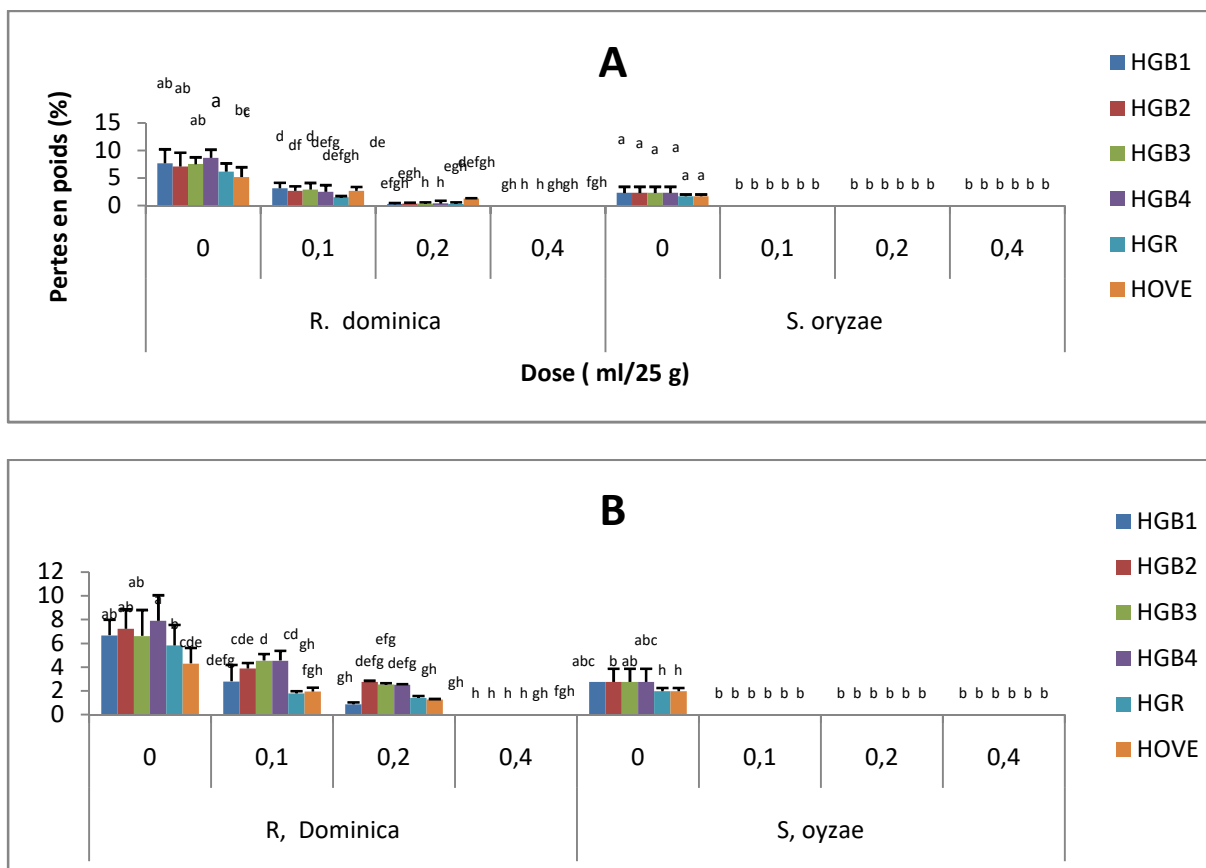


Figure 18. Pourcentage de perte en poids (% $\pm$ ET) des graines de blé dur (A) et tendre (B) traitées avec les six huiles et occasionnée par les deux insectes ravageurs (les barres suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes; test Dunn à $P = 0,05$).

5.5. Effet des six traitements sur le taux de germination des graines de blé

L'ensemble des facteurs étudiés affectent significativement le taux de germination des graines de blé : la nature de la substance testée ($P < 2.59e-14$), la dose de traitement ($P < 2.2e-16$), le substrat ($P < 2.2e-16$), et l'espèce d'insecte ($P = 0.00012$). Les boxplots qui représentent les différents croisements pour la germination en fonction du type de traitement, la dose, le type de substrat et l'espèce d'insecte sont illustrés par la figure 14d.

D'après les résultats (figure 19, A et B) nous notons que pour les deux insectes ravageurs étudiés, la faculté germinative dans les lots témoins non traités et non infestés oscille entre 91 % (blé dur) à 96.5 % (blé tendre). Par ailleurs, toutes les huiles testées réduisent notablement le pouvoir germinatif des semences de blé, comparativement au témoin non traité et non infesté ; toutefois, la germination a été réduite de manière plus drastique à la plus forte dose (0,4 ml /25g), celle-ci oscille entre 8.00 et 47.00 % si l'insecte ravageur est *S. oryzae* et entre 20.00 et 50.0 % pour *R. dominica* (figure 19, A et B).

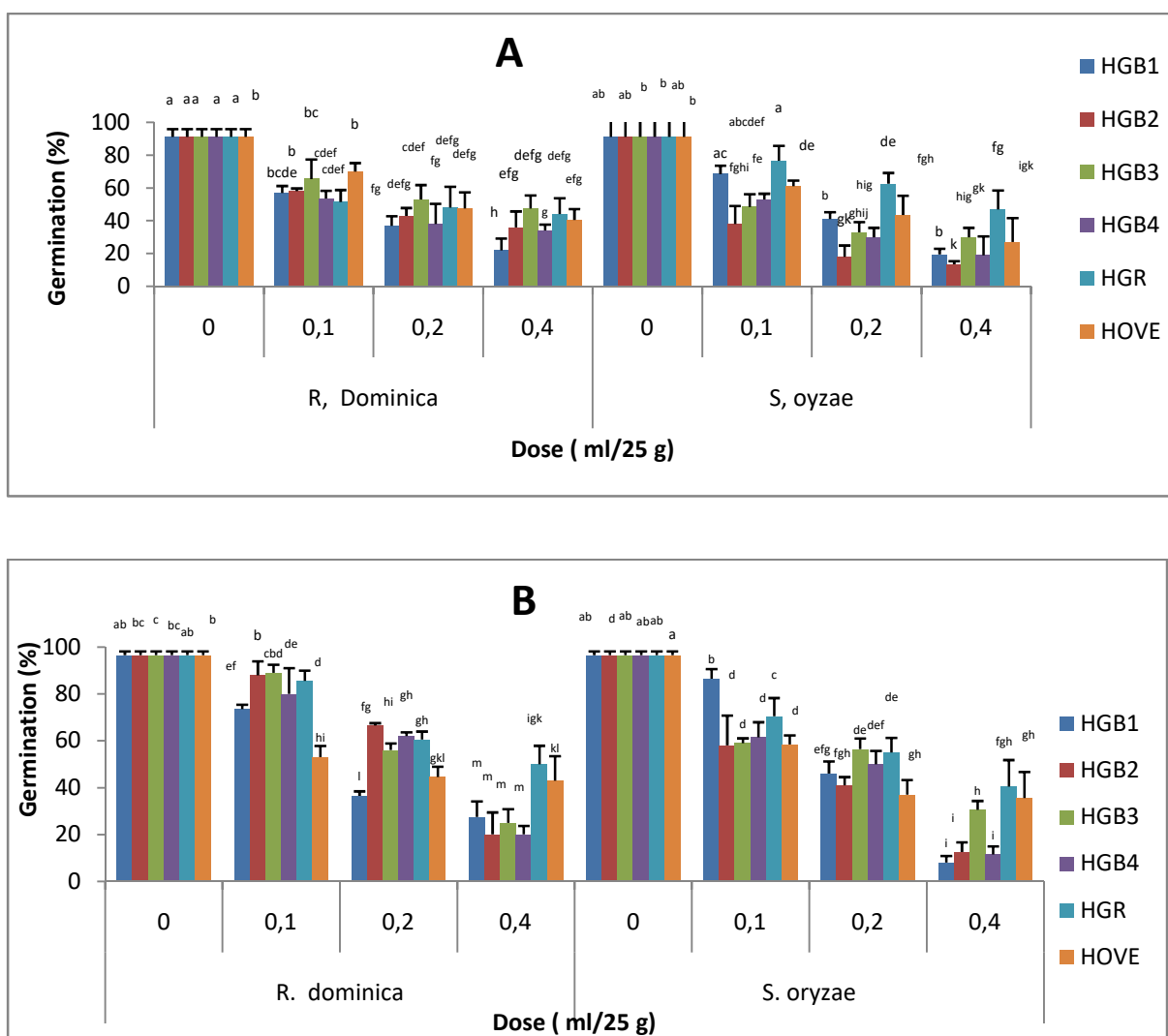


Figure 19. Taux de germination (% $\pm$ ET) des semences de blé dur (A) et tendre (B), traitées avec les six huiles et infestées par les deux insectes ravageurs (les barres suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes; test Dunn à $P = 0,05$).

6. Discussion

Les résultats de cette étude révèlent que les huiles de grignons brutes, l'huile de grignons raffinée et l'huile d'olive, testées ont montré une activité insecticide importante vis-à-vis de *S.*

oryzae et de *R. dominica*, infestant les semences de blé dur et de blé tendre. En effet, les huiles testées augmentent la mortalité des adultes et réduisent le nombre de descendants et les pertes de poids des grains infestés. Par ailleurs, nous remarquons que l'efficacité de ces huiles végétales est fortement dépendante de l'espèce d'insecte, de la dose du traitement, de la durée d'exposition et du type d'huile testé.

Dans nos conditions expérimentales, la mortalité est dépendante de la dose des traitements et de la durée d'exposition. Ces huiles ont montré une toxicité par contact (et ingestion) à l'égard des adultes de *S. oryzae* et de *R. dominica*; ce qui corrobore les travaux antérieurs réalisés sur les mêmes ravageurs par d'autres auteurs. En effet, nous pouvons citer, en particulier, ceux de Ivbijaro et al.(1985) ayant testé les huiles noix de coco, d'arachide et de palme (5-10 ml/kg de grains de maïs), de Tembo et Murfitt (1995) pour les huiles d'arachide, de colza et de tournesol (10 ml/kg de grains de blé), d'Obeng-Ofori (1995) avec les huiles de graines de coton, de soja, de maïs, d'arachide et de palme (10ml/kg de maïs et de sorgho), de Nikpay (2006) sur les huiles de camomille, d'amande douce et de noix de coco (10 ml / kg de blé), de Demissie et al. (2008) sur les huiles de noug, huile de soja, huile de tournesol, huile de maïs et d'huile d'olive (dose de 4,0 % W/W de maïs) et de Lal et Raj (2012), sur les huiles de neem, huile de tournesol (*Helianthus annuus*) et de ricin (*Ricinus communis*) (1 et 3 ml / kg de pois de cajan). Par ailleurs, Kellouche et al. (2004) et Ait Aider et al. (2016) ont mis en évidence l'efficacité des traitements avec différentes huiles végétales, dont l'huile d'olive, et des principaux acides gras, appliqués à raison de 0,8 ml / 50g, sur *C. maculatus* infestant les graines de *Vigna unguiculata*.

La production de l'huile d'olive peut être influencée par des facteurs climatiques, génétiques et agronomiques et par leurs interactions. Des travaux récents ont montré que des facteurs climatiques tels que la température et les précipitations influaient sur le comportement physiologique des plantes et, par conséquent, sur les caractéristiques chimiques de leur huile (Romero et al., 2003 ; Borges et al., 2017 ; Pardo et al., 2020 ; Mafrica et al., 2021). Ainsi, l'huile d'olive fait l'objet d'une attention particulière avec de nombreuses recherches, menées pour en garantir la pureté, l'authenticité et la qualité (Arslan et al., 2013 ; Vera et al., 2019 ; Cecchi et al., 2020).

Les caractéristiques des huiles végétales peuvent aussi avoir une influence sur leurs activités biologiques (Kellouche et al., 2004). En dépit du fait que toutes les huiles testées ont révélé une toxicité par contact (et ingestion) contre les deux insectes, l'huile d'olive a manifesté l'activité biologique la plus importante en présence des deux substrats infestés. Schoonhoven (1978) a signalé que la pureté des huiles influence significativement leur

efficacité et que les huiles brutes offrent une protection nettement meilleure que les huiles purifiées contre *Zabrotes subfasciatus* (Coleoptera :Chrysomelidae). Par ailleurs, Pacheco et al. (1995) ont noté que l'huile de ricin brute était plus efficace que l'huile de soja raffinée contre *C. maculatus* et *C. phaseoli* dans les traitements des pois chiches entreposés. En effet, les effets toxiques des huiles brutes pourraient être attribués à une éventuelle activité synergique de leurs constituants (Kher, 2006 ; Ait Aider et al., 2016).

Dans la présente étude, *S. oryzae* peut être considérée comme plus sensible que *R. dominica* aux six traitements testés. Les différences dans les réponses des insectes ravageurs des produits entreposés à différentes huiles végétales ont été déjà signalées (Shaaya et al., 1997) et pourraient être attribuées aux différences morphologiques et comportementales entre les insectes. Par exemple, Hill (1990) a signalé que *S. zeamais* est considérée comme particulièrement agile, donc la possibilité de contact avec la substance toxique augmente. Sighamony (1986) a rapporté également que les huiles de girofle, de cèdre et de karanja, appliquées à raison de 25-200 ppm, étaient considérablement plus efficaces contre *S. oryzae* que vis-à-vis *R. dominica*.

À la lumière des résultats obtenus, pour les deux espèces de ravageurs étudiées, la différence d'efficacité des huiles selon le type de grain utilisé (blé dur ou blé tendre) n'est pas significative. Cependant, il est bien connu que le type de régime alimentaire affecte à la fois le taux de développement et la production de progéniture chez *S. oryzae* et *R. dominica* (Mcgaughey et al. 1990 ; Oloyede-Kamiyo et Adetumbi, 2017). En outre, le type de grain est un facteur critique qui affecte l'efficacité insecticide des huiles végétales contre les ravageurs des produits stockés (Khalique et al., 1988 ; Ahmed et al., 1989). Dey et Sarup (1993) ont testé l'efficacité de 8 huiles végétales sur des adultes de *S. oryzae*, en présence de trois variétés de maïs entreposées, et ont observé des niveaux d'efficacité différents.

Concernant les effets des traitements sur la descendance de *S. oryzae* et de *R. dominica*, toutes les huiles végétales évaluées ont entraîné une réduction significative de l'émergence des adultes de la première génération. Cette diminution pourrait être due à l'augmentation de la mortalité des adultes et aux propriétés ovicides et/ou larvicides des huiles végétales comme l'indiquent les travaux de Kumar et Okonronkwo (1991), d'Obeng Ofori et Amiteye (2005), et de Gemechu et al. (2013). En effet, ces différents auteurs estiment que les huiles végétales telles que l'huile de palme, l'huile de soja, l'huile d'arachide, l'huile de coco et l'huile de moutard réduisent de manière significative l'émergence de la descendance de *R. dominica* et de *S. zeamais*, respectivement. D'autres auteurs comme Obeng-Ofori et Reichmut (1999) ont rapporté que les traitements aux huiles végétales (noix de coco, tournesol, sésame et

moutarde) ont inhibé la production de progéniture chez *S. granarius*, *S. zeamais* et *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera ; Bostrychidae). De plus, des résultats similaires ont été obtenus avec d'autres huiles végétales contre *C. maculatus* sur le niébé (Ketker, 1989 ; Ramzan, 1994 ; Rajapakse et Van Emden, 1997 ; Shaaya et al. 1997 ; Ahmed et al., 1999; Rahman et Talukder, 2006 ; Swella et Mushobozy, 2007).

Sur un autre volet, nous constatons que toutes les huiles testées ont considérablement réduit l'activité alimentaire de *R. dominica* et de *S. oryzae*, réduisant ainsi la perte de poids des grains de blé infestés, par rapport aux grains des lots témoins infestés mais non traités. En effet, aucune perte de poids n'a été constatée dans les grains traités avec 0,4 ml/25g pour les six huiles. Ces résultats sont conformes à ceux d'autres travaux faisant état d'une corrélation positive entre la densité des adultes émergés et le pourcentage de perte en poids des grains (Ivbijaro et al., 1985; Braga-Caneppele et al. 2003; Law-Ogbomo et Egharevba, 2006).

Le mode d'action des huiles végétales n'est pas clairement défini, il a été suggéré que la mort des insectes soit due à l'anoxie (Ali et al., 1983 ; Don-Pedro, 1989) ou à une perturbation de la respiration normale, entraînant l'obturation des stigmates respiratoires des larves et des adultes (Ait Aider et al., 2016). Les huiles pourraient aussi agir comme anti appétant ou modifier le micro-environnement de stockage, décourageant ainsi la pénétration et l'alimentation des insectes (Obeng-Ofori, 1995; Weaver et Subramanyam, 2000). Selon Demissie et al. (2008), le mode d'action des lipides est lié à l'absorption de ces derniers par la cuticule de l'insecte, étant donné que la couche de cire protectrice de la cuticule est endommagée. D'autres auteurs attribuent l'activité insecticide de ces substances à leur teneur en triglycérides et en acide oléique (Hill et Schoonhoven, 1981 ; Lienard et al.,1993 ; Parr et al.,1998 ; Philogène et al., 2008; Ait aider et al., 2016).

Enfin, les résultats obtenus ont révélé aussi que les six huiles testées affectent la viabilité des graines de blé traitées. Nous avons également observé que cette phytotoxicité augmentait avec la concentration d'huile végétale. Les données de Tembo et Murfitt (1995) indiquent que l'application de fortes doses des huiles d'arachide, de navette et de tournesol, à des doses de 10 ml / kg, peut réduire considérablement la germination des semences. Yuya et al. (2009) ainsi que Wale et Assegie (2015) ont également signalé des réductions sévères de la germination des grains de maïs traités avec des doses élevées d'huile de graines de niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) et de l'huile de ricin (*Ricinus communis* L.) respectivement.

Cependant, diverses études ont démontré l'innocuité des traitements avec un certain nombre d'huiles végétales utilisées pour protéger les graines de légumineuses comestibles

(Khaire et al., 1992; Kellouche et al., 2004 ; Law-ogbomo et Egharevba, 2006 ; Lal et Raj 2012). Des investigations supplémentaires sont nécessaires pour clarifier la divergence.

7. Conclusion

Les expériences réalisées nous ont permis de mettre en évidence l'efficacité des traitements des grains de blé avec des substances naturelles comme l'huile d'olive et l'huile de grignons d'olive pour réduire les dégâts occasionnés par les principaux insectes ravageurs des grains stockés. L'huile d'olive est utilisée en grande quantité dans la cuisine locale et est donc sans danger pour traiter les grains de blé.

Chapitre III
Tests de toxicité avec les
huiles d'olives de la variété
Chemlal

1. Introduction

La superficie oléicole mondiale est estimée à 12 millions d'hectares, dont 95 % se situe dans le bassin méditerranéen. La production moyenne en olives est de 20 millions de tonnes par an dont 90% sont utilisés pour l'extraction d'huile, le reste étant consommé en tant qu'olives de table (FAOSTAT, 2017; COI, 2018).

En Algérie, l'olivier représente plus de 40 % de la surface occupée par les cultures fruitières, avec un effectif de 57 millions de pieds plantés sur une superficie d'environ 500.000 ha. Selon le conseil oléicole international, l'Algérie est le neuvième pays producteur d'huile d'olive au monde, avec environ 77 000 tonnes d'huile d'olive pour la saison 2016/17 (COI, 2018). En Effet, plus de 50% de la production nationale d'huile d'olive provient principalement de trois aires oléicoles de la Kabylie (Béjaïa, Tizi Ouzou et Bouira) (MARDF, 2017) représentant plus de 44 % de la superficie oléicole nationale (Titouh et al., 2020). En Kabylie, le profil variétal est constitué essentiellement d'une variété population dénommée Chemlal. C'est une variété à huile, adaptée aux conditions pédoclimatiques locales, et constitue 40% du verger oléicole Algérien (Mendil, 2009 ; FAO, 2019).

L'huile d'olive vierge est consommée sans raffinage et, de ce fait, garde toute sa composition naturelle. Elle est réputée pour sa flaveur caractéristique et son profil en acides gras représenté essentiellement par l'acide oléique (Gargouri et al., 2013 ; Gorzynik-Debicka et al., 2018). Cette substance possède des activités antimicrobiennes, anti-athérosclérose (Villarejo et al., 2015 ; Madjkouh et al., 2016 ; Carnevale et al., 2017 ; Casas et al., 2018 ; Fei et al., 2018 ; . Hasan et al., 2020) et représente un puissant composant à caractère insecticide qui pourrait être utilisé comme biopesticide (Abdallah et al. , 2001; Kellouche et al., 2004 ; Uddin et Sanusi , 2013 ; Ekoja et Ogah, 2020 ; Zohry et al., 2020).

C'est dans le but de vérifier cette propriété, que le présent chapitre est menée et consiste à évaluer l'activité biologique, à l'égard de deux principaux insectes ravageurs des denrées stockées, *S.oryzae* et de *R. dominica*, des huiles extraites des oliviers de quatre régions oléicoles de Kabylie, durant deux saisons oléicoles successives (2016/2017 et 2017/2018). Par ailleurs, afin d'évaluer la qualité de l'huile d'olive testée, l'acidité libre (%), l'indice de peroxyde, les coefficients d'extinction à 232 et 270 nm (K_{232} et K_{270}) et la composition en acide gras ont été également étudiés. L'intérêt de ce travail réside dans l'élaboration d'une méthode naturelle de conservation durable pouvant être utilisée localement pour protéger les semences de céréales, produits stratégiques dans notre pays.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériel biologique

Les élevages de masse de *R. dominica* et de *S.oryzae* ont été réalisés avec les graines de blé dur et de blé tendre, dans une étuve obscure réglée à une température 30 ± 1 °C et une humidité relative de 70 ± 5 %, afin de produire un nombre suffisant d'adultes pour les différents essais biologiques. La souche utilisée provient des entrepôts de stockage de la Coopérative de Céréales et de Légumes Secs (CCLS) de Tizi-Ouzou (Algérie) (paragraphe 2.1, chapitre II).

2.2. Le substrat utilisé

Des graines de blé dur et de blé tendre, de provenance locale et n'ayant subi aucun traitement chimique ont été utilisées dans les tests de toxicité réalisés dans les mêmes conditions que celles décrites précédemment.

2.3. Huiles d'olive

2.3.1. Provenance des huiles

Cette étude a été réalisée, durant deux campagnes agricoles consécutives (2016/2017 et 2017/2018), dans quatre vergers oléicoles de la région de la Kabylie : Tadmait (S1), Maâtkas (S2), M'Chedellah (S3) et de Bechloul (S4) (figure20).

Les oliveraies sélectionnées n'ont fait l'objectif d'aucun entretien. Leurs coordonnées géographiques et leurs altitudes sont illustrées dans la figure 20. Le tableau 6 montre les conditions climatiques de la zone d'étude au cours des deux campagnes agricoles. D'après Asla (2002), la région de Tizi-Ouzou est localisée dans l'étage bioclimatique subhumide à variante douce. Lounaci (2005) a résumé les caractéristiques du climat de la Kabylie comme suit : un hiver froid et humide avec des précipitations irrégulières entre les années et un été chaud et sec.

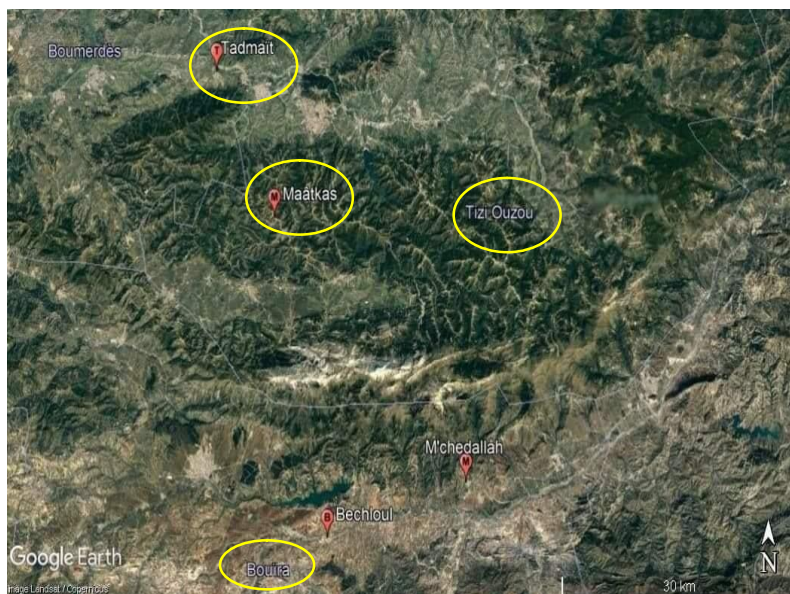


Figure 20. Localisation géographique des vergers d'étude (Google maps, 2021).

Lieu de plantation : Tizi-Ouzou

Régions : Tadmaït/ Maâtka

Latitude: 36.6121/36.7427/36.61

Altitude: 63/620

Longitude: 3.98778 36° 36' 44" Nord,
3° 59' 16" Est
/3.90186 36° 44' 34" Nord, 3° 54' 7"
Est/

Lieu de plantation : Bouira

Régions : Bacheloul/ M'Chandallah

Latitude : 36.3167/36.3971

Altitude : 441/692 m

Longitude : 4.06667 36° 19' 0" Nord,
4° 4' 0" Est/4.24858 36° 23' 50" Nord,
4° 14' 55" Est

Tableau 6. Conditions climatiques des zones de culture pendant les campagnes agricoles 2016/2017 et 2017/2018 (O.N.M de Tizi-Ouzou, 2018 ; O.N.M de Bouira, 2019).

Campagne oléicole	Tizi-Ouzou			Bouira		
	P (mm)	T (°C)	RH (%)	P (mm)	T (°C)	RH (%)
2016/17	710.5	18.9	69	659.0	18.50	63.0
2017/18	716.8	19.0	69	439.8	18.2	63.10

P : Précipitations totales; **T** : Températures moyennes annuelles ; **RH** : Humidité relative de l'air moyenne

2.3.2. Échantillonnage

Les olives destinées à l'extraction de nos échantillons d'huiles ont été prélevées, de la variété locale Chemlal, variété prédominante du verger algérien, au même stade de maturité (indice de maturité autour de trois), durant le mois de Novembre. L'échantillonnage est effectué à la main et chaque échantillon est constitué de 2 Kg d'olives provenant de 10 arbres

adultes choisis de façon aléatoire. Les échantillons sont cueillis de l'intérieur et de l'extérieur de la couronne de l'olivier.

2.3.3. Détermination de l'indice de maturité

Le stade de maturité des olives a été déterminé selon la méthode développée par la station agricole de Jaén (Uceda et Hermoso, 1998). Celle-ci repose principalement sur l'évaluation de la couleur de l'épiderme et du mésocarpe du fruit (COI, 2011). Il est mesuré en prélevant de l'arbre, à hauteur d'homme, environ 1 kg d'olives. De ce lot, on prélève un échantillon de 100 olives que l'on classe dans les groupes suivants :

Classe 0 : peau vert intense ;

Classe 1 : peau vert jaunâtre ;

Classe 2 : peau verte avec des taches rougeâtres sur moins de la moitié du fruit : début de la véraison ;

Classe 3 : peau rougeâtre ou violette sur plus de la moitié du fruit : fin de la véraison ;

Classe 4 : peau noire et pulpe blanche ;

Classe 5 : peau noire et pulpe violette sans atteindre le centre de la pulpe ;

Classe 6 : peau noire et pulpe violette sans atteindre le noyau ;

Classe 7 : peau noire et pulpe violette sur toute la pulpe jusqu'au noyau ;

L'indice de maturité (I.M.) est calculé selon la formule suivante :

$$IM = \frac{(0 \cdot n_0) + (1 \cdot n_1) + (2 \cdot n_2) + (3 \cdot n_3) + (4 \cdot n_4) + (5 \cdot n_5) + (6 \cdot n_6) + (7 \cdot n_7)}{100}$$

Où n_0 , n_1 , n_2 , n_3 , n_4 , n_5 , n_6 et n_7 représentent le nombre de fruits des classes 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7, respectivement (Bouskou, 1996). Les valeurs de l'IM varient de 0 (100% peau très verte) à 7 (100% chaire pourpre et peau noire). Les valeurs de l'IM (tableau 7) de nos échantillons varient de 3.0 à 3.83 (campagne oléicole 2016/2017) et de 3.41 à 3.88 (campagne oléicole de 2017/2018).

Tableau 7. Données relatives à l'indice de maturation des olives récoltées.

	V1, 2017	V2, 2017	V3, 2017	V4, 2017	V1, 2018	V2, 2018	V3, 2018	V4, 2018
Vergers*								
IM	3.03	3.83	3.0	3.30	3,88	3,44	3,62	3.41

*V1: verger de Tadmaït ; V2: verger de Maâtkas; V3 : verger de M'Chedellah,; V4 : verger de Bechloul,

2.3.4. Extraction de l'huile d'olive

Les huiles de chaque verger ont été extraites séparément à l'aide d'un oléodoseur (S.I.O.L. 20240 GHISONACCIA, France) dans les 48 h suivant la récolte, à l'Institut technique de l'arboriculture et de la vigne (ITAFV de Takrietz, Bejaïa). Les fruits ont été broyés avec un broyeur à marteaux et la pâte d'olive a été malaxée à 18 ° C, pendant 30 mn, dans un malaxeur. L'huile d'olive a été séparée par centrifugation, sans addition d'eau chaude, en utilisant un décanteur à deux phases (paragraphe 3.1.2, chap II).

Les huiles obtenues sont classées selon leur provenance et l'année de production ; HO1, 2017 (Tadmaït, 2017), HO2, 2017 (Maâtkas, 2017), HO3, 2017 (M'Chedellah, 2017), HO4, 2017 (Bechloul, 2017), HO1,2018 (Tadmaït, 2018), HO2,2018 (Maâtkas, 2018), HO3,2018 (M'Chedellah, 2018), HO4,2018 (Bechloul,2018). Enfin, les huiles ont été conservées au froid (2 °C) dans des bouteilles en verre opaque et hermétique de 250 ml sans espace de tête, jusqu'au moment de l'analyse.

2.3.5. Détermination des indices de qualité de l'huile

Les mêmes analyses, que celles décrites dans le paragraphe 3.3 de chapitre II, ont été effectuées sur les échantillons d'huiles de chaque région d'étude, durant les saisons oléicoles 2016/2017 et 2017/2018.

2.3.6. Bioessais

Chaque huile d'olive que nous avons extraite a été mélangée aux graines de blé dur et de blé tendre dans des boîtes de Pétri en verre (13 cm de diamètre et 3 cm de hauteur), aux doses : 0.1, 0.2 et 0.4 ml/25 g. Tous les essais ont été répétés quatre fois pour chaque dose et le témoin.

20 insectes adultes non sexés, âgés de 1-7 jours, ont été introduits dans chaque boîte, contenant les grains traités, qui a été immédiatement fermée. Le dénombrement des insectes morts a été effectué après 24 h et tous les jours suivants, pendant 4 jours. Les mortalités des lots traités ont été exprimées selon la formule d'Abbott (1925), citée par Yuakhlef et al (2020), en mortalité corrigée (Mc) en tenant compte de la mortalité naturelle observée dans les lots témoins (MC): $MC = [(M-Mt) / (100-Mt)] \times 100$; où : MC= pourcentage de mortalité corrigée ; M = pourcentage d'individus morts dans la population traitée et Mt = pourcentage d'insectes morts dans la population témoin. L'analyse des probits (Finney, 1971) est réalisée sur les mortalités corrigées, enregistrées 72 h après le traitement avec les quatre huiles.

A la fin des tests, tous les adultes (morts et vivants) ont été retirés des boîtes de Pétri qui ont été ensuite conservées dans l'étuve dans les mêmes conditions, pendant une période supplémentaire de 45 jours ; passé ce délai, nous avons procédé au dénombrement des

descendants adultes de la première génération. Au jour 45, des échantillons de grains traités ou témoins ont été prélevés pour évaluer la perte de poids et leur pouvoir germinatif (paragraphe 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 de chapitre II).

2.3.7. Analyse des données

Les résultats obtenus ont été analysés en utilisant le logiciel R, en tenant compte de l'origine géographique des huiles, de la campagne oléicole, de l'espèce d'insecte et du substrat comme principales variables. Les tests de normalité ont été appliqués à l'aide du test d'Anderson-Darling. Les données n'étaient pas normalement distribuées (tableau 8) et des tests non paramétriques ont été effectués (test de Kruskal -Wallis), Les variables dont les analyses statistiques montrent une différence significative ont subi le test U de Mann – Whitney, au seuil $P= 5\%$.

Tableau 8. Test de normalité d Anderson-Darling

Variables	P	Décision
Taux de mortalité (%)	$< 2.2e-16$	Non- normalité
Émergences	$< 2.2e-16$	Non- normalité
Pertes en poids (%)	$< 2.2e-16$	Non- normalité
Taux de germination (%)	$< 2.2e-16$	Non- normalité

3. Résultats

3.1. Les indices de qualité des huiles d'olives de la variété Chemlal

La qualité est définie comme étant l'ensemble des caractéristiques chimiques, physiques et sensorielles, permettant de classer l'huile d'olive en différentes catégories conformément aux normes définies par la Commission Européenne (Regulation ECC 2568/91). Par ailleurs, les paramètres de qualité et d'authenticité sur lesquels les normes sont fondées se trouvent très influencés par plusieurs facteurs tels que les facteurs agronomiques, environnementaux et pédoclimatiques, du moment de la récolte des olives, du stockage des olives après la récolte, de la technologie d'extraction et des conditions de stockage (Aparicio et Harwood, 2013; Servili et al., 2015).

Le tableau 9 présente les résultats moyens obtenus pour les différents paramètres physico-chimiques des huiles d'olives de la variété Chemlal, extraites des olives de quatre vergers différents et durant deux saisons oléicoles successives.

3.1.1. L'acidité libre

L'acidité constitue un indicateur fondamental de la qualité pour une huile donnée, notamment l'huile d'olive (Xiang et al., 2017). Elle est apparue comme moyen simple et efficace pour l'évaluation qualitative et la classification par catégorie commerciale des huiles d'olive. L'acidité de l'huile d'olive est évaluée par le pourcentage d'acides gras libres, exprimée en gramme d'acide oléique par 100g d'huile d'olive (Giuffrè, 2018). Le contenu en acide gras libres est un indicateur de l'activité de la lipase, de la qualité et de la fraîcheur du fruit, de la durée du stockage et de la stabilité de l'huile (Reboredo-Rodríguez et al., 2014; Borges et al., 2017).

D'après les résultats obtenus (tableau 9), l'acidité libre de l'ensemble des échantillons d'huile d'olive testés varie de 0,17 à 0,66 %, ces valeurs sont conformes à la norme fixée par le COI ($< 0.8\%$) pour la catégorie des huiles d'olives vierges extra (propres à la consommation en l'état) (ECC, 1991).

Les faibles teneurs en acidité témoignent d'une faible activité lipolytique, cela peut être une conséquence directe d'une récolte à la main, d'une extraction immédiate sans procéder au stockage des olives et au bon état sanitaire des olives, récoltées directement sur l'arbre (Boskou, 1996, 2006 ; Baccouri et al., 2007 ; Hbaieb et al., 2016 ; Lukic et al., 2018). Selon Salvador et al. (2001) et Mafrica et al. (2021), l'augmentation du taux d'acidité de l'huile d'olive est principalement due à l'activité enzymatique causée par les dommages tissulaires des fruits.

3.1.2. Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde est exprimé généralement en milliéquivalent d'oxygène par kg d'huile (Brand-Williams et al., 1995 ; Li et al., 2014), il sert à mesurer les hydro-peroxydes totaux, qui sont des produits primaires de l'oxydation des acides gras insaturés (Kiritsakis et Shahidi, 2017) et constitue un moyen direct pour la mesure de l'auto-oxydation lipidique (Taghvaei et Jafari, 2015 ; Di Serio et al., 2018). Tous les échantillons testés présentent des valeurs de l'indice de peroxyde respectant les limites légales ($< 20 \text{ meq O}_2/\text{kg}$) pour les huiles d'olives vierges extra (CEE 2568/91), elles oscillent entre 7.51 pour l'échantillon (HO3, 2017) à 12.00 meq d' O_2 / kg pour l'échantillon (HO4, 2018) (tableau 9). Les valeurs extrêmement faibles d'acidité libre et de peroxyde pourraient être étroitement liées au court

temps de stockage, à la maturité et au degré d'oxydation des huiles (Rodrigues et al., 2016 ; Houshia et al., 2019).

3.1.3. L'absorbance dans l'UV

L'examen spectrophotométrique dans l'ultraviolet, exprimée en coefficients d'extinction spécifique, indique l'état d'oxydation de l'huile d'olive en fournissant des informations sur la qualité, l'état de conservation et / ou les modifications induites par les processus technologiques (Fadda et al., 2012 ; Dais et Hatzakis, 2013 ; Conte et al., 2020). L'oxydation d'une huile aboutit à une dégradation en chaîne des acides gras insaturés par l'oxygène atmosphérique sous l'effet de différents facteurs exogènes et endogènes initiateurs, accélérateurs ou retardateurs, conduisant à des produits oxydés volatils ou non (Esposito et al., 2017 ; Alonso-Salces et al., 2021), nous pouvons citer l'exemple des hydroperoxydes linoléiques qui absorbent la lumière au voisinage de 232 nm. Si l'oxydation se poursuit, il se forme des produits secondaires d'oxydation, en particulier des dicétones et des cétones insaturées qui absorbent la lumière vers 270 nm (Rovellini et Cortesi, 2004). Les valeurs maximales autorisées pour K_{232} et K_{270} sont, respectivement de 2,50 et 0,22 pour les huiles d'olive extra-vierges (annexes II et IX du règlement de la Communauté européenne CEE / 2568/91).

Les huiles d'olives produites, durant la campagne oléicole 2017/2018, enregistrent des valeurs d'absorbances dans l'UV à 232 nm et à 270 nm (tableau 9) qui s'inscrivent parfaitement dans les limites fixées par le règlement CEE 2568/91 pour une huile d'olive extra vierge ($K_{232} \leq 2,5$ et $K_{270} \leq 0,22$) ; elles oscillent entre 0,97 à 2,68 (K_{232}) et de 0,13 à 0,22 (K_{270}). Les faibles valeurs de K_{232} et K_{270} ont également confirmé la bonne qualité globale des huiles d'olive produites durant la campagne de 2017/2018. Cependant, la majorité des échantillons d'huiles produits durant la campagne oléicole 2016/2017, ont présenté des valeurs de K_{232} et K_{270} supérieures aux normes fixés (CEE 2568/91) pour les huiles d'olives vierge-extra et pour l'huile d'olive vierge, ce qui décline les huiles vers la catégorie huile d'olive vierge courante. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces résultats. Il s'agit des facteurs géographiques (altitude, composition du sol et latitude), les conditions climatiques prévalant durant l'année de la production (Douzane et al., 2013 ; El-Qarnifa et al., 2019). Ainsi, Salvador et al. (2001, 2003) ont constaté que les valeurs élevées du taux d'acidité, de l'indice de peroxydes et des valeurs d'extinction spécifique dans l'UV, sont la conséquence directe des facteurs climatiques régnant durant la campagne oléicole de l'année d'échantillonnage, surtout à la suite d'un choc thermique, consécutivement à un gel.

3.2. Composition en acide gras des huiles d'olives

Les huiles d'olive sont principalement constituées de triglycérides avec différents rapports d'acides gras insaturés et saturés (Aparicio et Harwood, 2013; Karabagias et al., 2019). La composition en acides gras des huiles d'olive est influencée par plusieurs facteurs, notamment la zone de production, la latitude, le climat et la maturité des fruits, mais dépend principalement de facteurs génétiques (Piscopo et al., 2016; Borges et al., 2017).

Le tableau 10 montre les résultats des principaux acides gras et la somme des acides gras saturés (AGS), monoinsaturés (AGMI) et polyinsaturés (AGPI) ; pour les huit échantillons testés, la composition en acides gras des huiles d'olive analysées répond aux normes fixées par le règlement CEE/2568/91 de la Commission du 11 juillet 1991 pour la catégorie EVOO. Cette composition acide est variable, en effet, les pourcentages de l'acide oléique (C18:1) varient entre 59.08 pour l'échantillon HO2, 2018 à 66.88 pour HO4, 2017, alors que les pourcentages de l'acide palmitique (C16 :0) varient entre 15.06 (HO1), 2017 à 18.81 (HO2), 2018. Ces deux acides gras sont donc prédominants (Louadj et Giuffré, 2010 ; Bengana et al., 2013 ; Gharbi et al., 2015 ; Lainer et al., 2016 ; Boudour-Benrachou et al., 2017 ; Guissous et al., 2018), ils sont suivis de l'acide linoléique (C18:2) dont les taux vont de 10.38 à 15.06 % pour HO4 (2017) et HO2 (2018), respectivement. Les acides gras mineurs (<4%), sont représentés par l'acide linolénique (C18 :3), l'acide palmitoléique (C16 :1) et les acides arachidique (C20 :0) et gondoïque (C20 :1), alors que les acides gras présents à l'état de traces (<0,2 %) sont représentés par les acide heptadécanoïque (C17 :0) et docosanoïque (C22 :0). Le taux d'acides gras saturés varie de 18.64 à 21.86 % du total des acides gras, tandis que le pourcentage des acides gras mono insaturés et polyinsaturés varie, respectivement, de 62.48 à 69.24% et de 10.91 à 15.44%.

Tableau 9. Indices de qualité des huiles extraites des olives de la variété Chemlal récoltées dans quatre vergers et durant deux saisons oléicoles consécutives

Échantillons	Acidité (%)	Indice de Peroxyde (meq O ₂ /kg)	K ₂₃₂	K ₂₇₀	Règlement UE n°1531/2001				
					Acidité (%)	Indice de peroxyde (meq O ₂ /kg-1)	K ₂₃₂	K ₂₇₀	Classification
HO1,2017	0,43 ± 0,22	10,83 ± 0,76	0,98 ± 0,05	0,21±0,008	<0,8	<20	≤ 2,5	≤ 0,22	HOVE
HO2,2017	0,17±0,00	10,01±0,001	2,96±0,00	0,29±0,0	<0,8	<20	≤ 2,5	≤ 0,22	HOV
HO3,2017	0,23±0,00	10,50±0,00	2,91±0,0	0,28±0,0	<0,8	<20	≤ 2,5	≤ 0,22	HOV
HO3,2017	0,17±0,00	7,51±0,00	2,63±0,00	0,28±0,0	<0,8	<20	≤ 2,5	≤ 0,22	HOV
HO1,2018	0,17±0,00	10,01±0,00	2,68±0,00	0,21±0,0	<0,8	<20	≤ 2,5	≤ 0,22	HOV
HO2,2018	0,38±0,16	7,83±0,58	1,26±0,02	0,13±0,01	<0,8	<20	≤ 2,5	≤ 0,22	HOVE
HO3,2018	0,47±0,16	9,00±0,50	0,97±0,01	0,20±0,02	<0,8	<20	≤ 2,5	≤ 0,22	HOVE
HO4,2018	0,66±0,16	12,00±0,50	1,47±0,07	0,22±0,00	<0,8	<20	≤ 2,5	≤ 0,22	HOVE

✓ La classification des huiles d'olive a été faite à partir des analyses physico-chimiques, les analyses organoleptiques n'ont pas été réalisées, en l'absence d'un jury de dégustation.

Tableau 10, Composition en acides gras des échantillons d'huile d'olive de la variété Chemlal

	HO1,2017	HO2, 2017	HO3, 2017	HO4, 2017	HO1, 2018	HO2, 2018	HO3, 2018	HO4, 2018	Normes
C16:0	15,06	18,72	16,79	17,00	17,80	18,81	17,97	17,66	7,5-20
C16:1	1,94	2,61	2,55	2,01	2,32	3,13	2,26	2,26	0,3-3,5
C17:0	0,08	0,08	0,10	0,09	0,10	0,10	0,27	TR	-
C18:0	2,67	1,89	2,20	2,13	1,88	2,19	2,12	2,58	0,5-5
C18:1	66,44	61,38	64,29	66,88	63,59	59,08	62,28	60,39	55-83
C18:2	11,97	13,79	12,58	10,38	12,51	15,06	13,68	14,81	3,5-21,0
C18:3	0,46	1,001	1,01	0,53	0,68	0,38	0,52	0,51	<1,0
C20:0	0,71	0,50	0,62	0,45	0,48	0,64	0,59	0,73	0,6
C20:1	0,40	0,34	0,31	0,35	0,44	0,27	0,27	0,27	0,4
C22:0	0,12	0,15	0,13	0,14	0,14	0,12	TR	TR	0,2
AGMI/ AGPI	5,53	4,35	4,94	6,35	5,03	4,05	4,56	4,11	
A.oleique/ A.linolei que	5,55	4,45	5,11	6,44	5,08	3,92	4,55	4,08	
AGI/AGS	4,38	3,71	4,07	4,05	3,90	3,56	3,77	3,73	

^a C16:0, acide palmitique; C16:1, acide palmitoleique; C17 :0, acide margarique; C18:0, acide stearique; C18:1, acide oleique; C18:2, acide linoleique; C18:3, acide alpha linolenique; C20:0, acide Arachidique; C20:1, acide eicosénoïque; C22:0, acide behénique; AGMI/AGPI, acides gras monoinsaturés/ acides gras polyinsaturés; AGI/AGS, acides gras insaturés/acides gras saturés,

3.3. Toxicité des huiles végétales

3.3.1. Effet des huit traitements sur la mortalité des deux insectes

Les résultats ont montré que les facteurs dose ($P=2.2\text{e-}16$), durée d'exposition ($P=1.087\text{e-}13$), espèce d'insecte ($P=2.2\text{e-}16$), campagne oléicole ($P=4.309\text{e-}06$), et le substrat ($P=6.388\text{e-}09$) agissent de façon très hautement significative sur le taux de mortalité des adultes de *R. dominica* et de *S. oryzae*. Cependant, l'effet de l'origine de l'huile ($P=0.3578$) est considéré comme non significatif.

Mortalité chez *S. oryzae*

D'après les résultats obtenus (figures 22, 23, 24, 25), le taux de mortalité des adultes de *S. oryzae* augmente au fur et à mesure que la dose de l'huile et le temps d'exposition augmentent, pour l'ensemble des huiles d'olive testées. Ce taux atteint, à la plus forte dose 0,4 ml, 100%, en présence des semences de blé dur traitées avec les huiles extraites durant la campagne oléicole 2016-2017 et ce, à partir du premier jour du lancement des tests (figure 22, 24), et il oscille entre 98.75 à 100% pour les huiles extraites durant la campagne oléicole de 2017-2018. Des taux de mortalité similaires ont également été enregistrés dans le cas du blé tendre (figures 23, 25).

Nous constatons que les huiles d'olive, issues de différentes régions et des deux campagnes oléicoles, testées à la dose 0.1ml /25 g , provoquent une importante mortalité à partir de 72h d'exposition, elle oscille entre 31.25 et 92.5 % pour le blé dur et entre 46.25 à 91.25 % pour le blé tendre (figure 22, 23, 24, 25).

Mortalité chez *R. dominica*

D'après les résultats obtenus (figures 22, 23, 24, 25), nous constatons qu'après 24 h d'exposition, toutes les huiles testées, à la plus forte dose (0.4 ml/25g), en présence des semences de blé dur et de blé tendre, se sont révélées très toxiques à l'égard de *R. dominica*, avec un taux de mortalité variant de 86.25 à 100% et de 72.5 à 96.25 %, pour les campagnes oléicoles respectives 2016-2017 et 2017-2018. En revanche, toutes les huiles testées, à la plus faible dose (0.1 ml/25g), ont provoqué de faibles taux de mortalité sur les adultes de *R. dominica*, en présence des semences de blé dur et de blé tendre, même après 96 h d'exposition, elles varient entre 7.50 et 43.75% pour la campagne oléicole 2016-2017 et de 2.50 à 48.75 pour celle de 2017-2018 (figures 22, 23, 24, 25). Les valeurs des DL_{50} obtenus chez *R. dominica* sont plus élevées que celles obtenus chez *S. oryzae*, ceci montre la plus grande résistance aux traitements du premier ravageur (tableau 11).

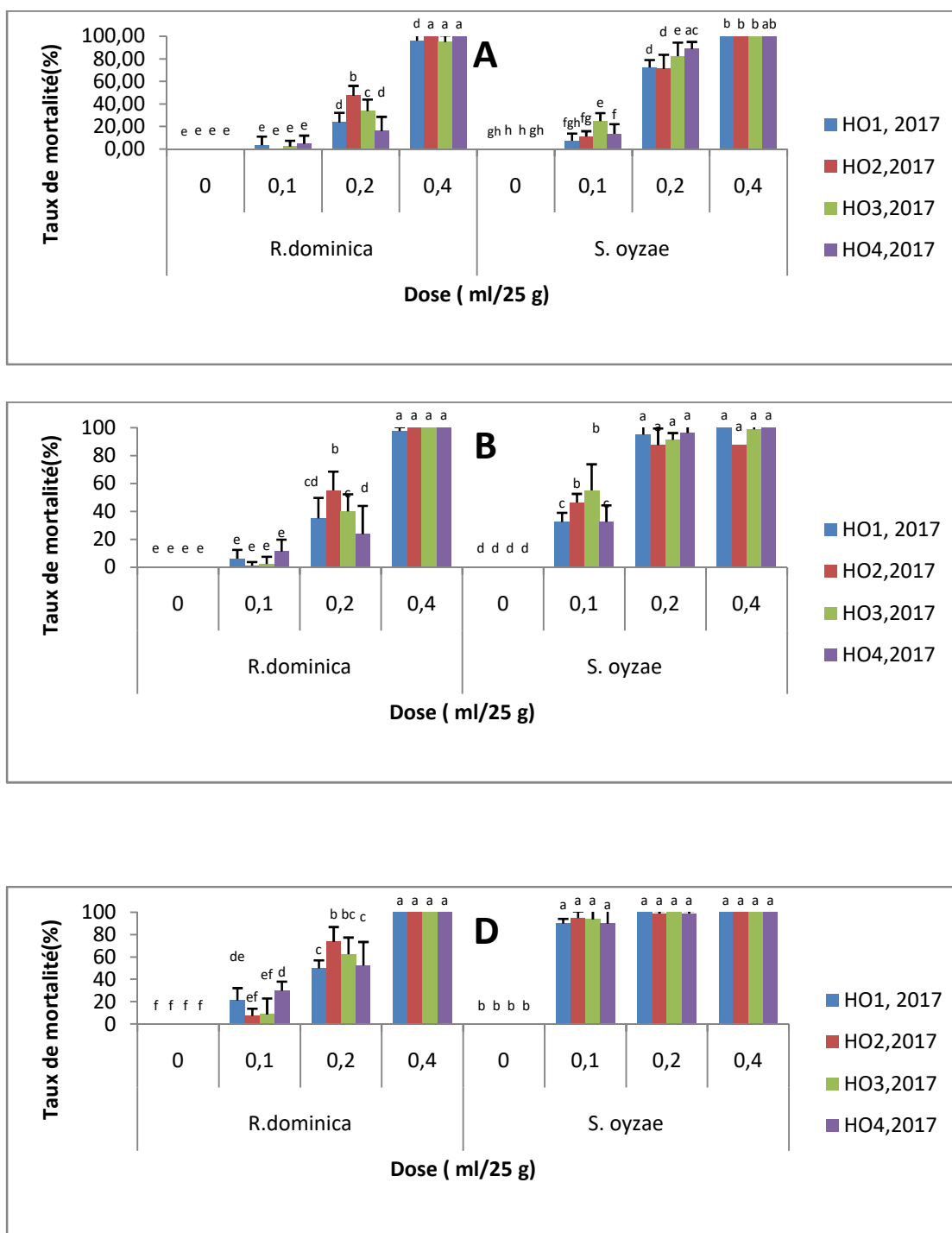


Figure 21. Pourcentage de mortalité cumulée (% $\pm$ ET) des adultes de *R. dominica* et *S. oyzae* exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé dur traités avec quatre huiles d'olives récoltées en 2017, selon les doses. Les moyennes dont les barres d'erreur portent une même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$

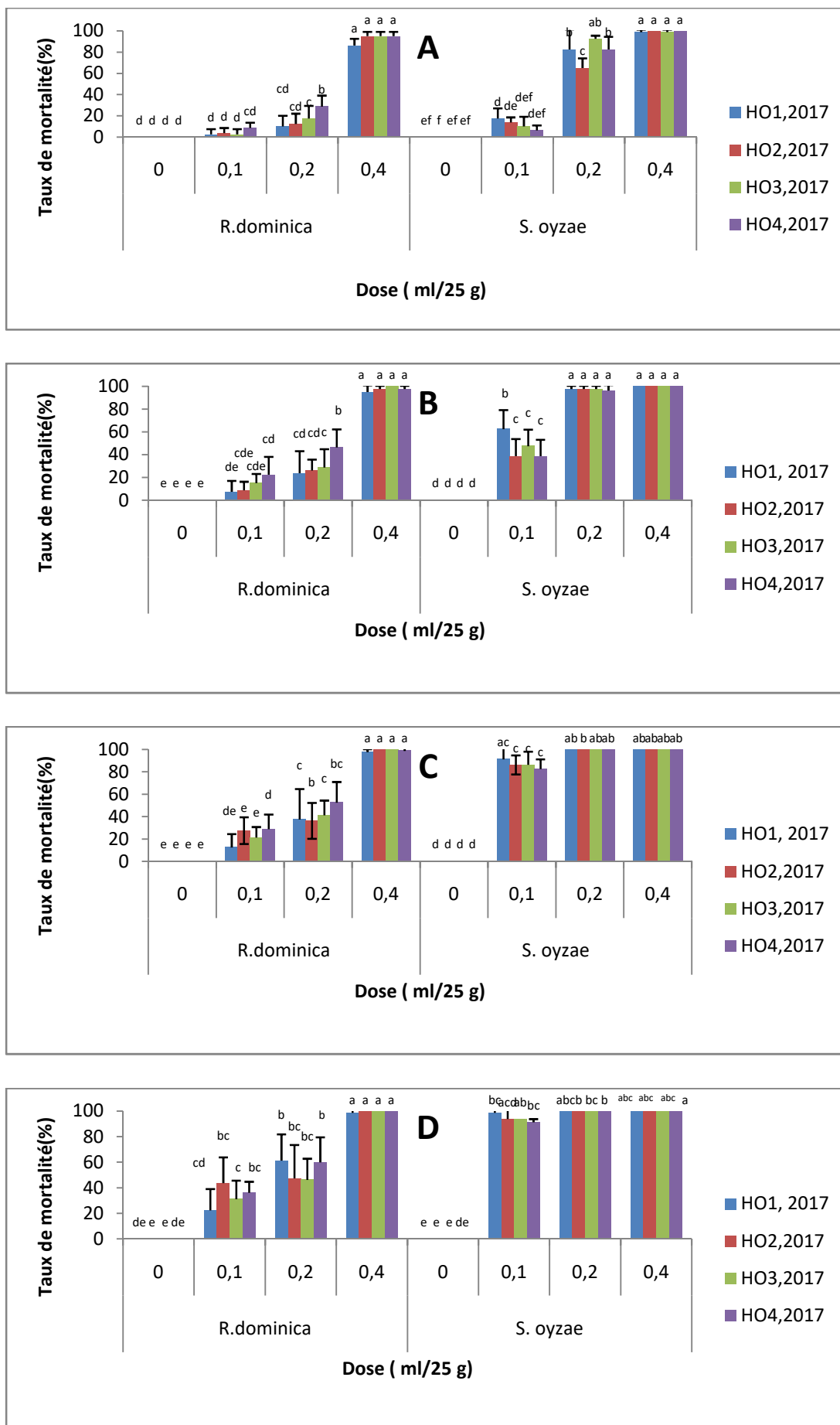


Figure 22. Pourcentage de mortalité cumulée (% $\pm$ ET) des adultes de *R. dominica* et *S. oryzae* exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé tendre traités avec quatre huiles d'olives récoltées en 2017, selon les doses. Les moyennes dont les barres d'erreur portent une même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$.

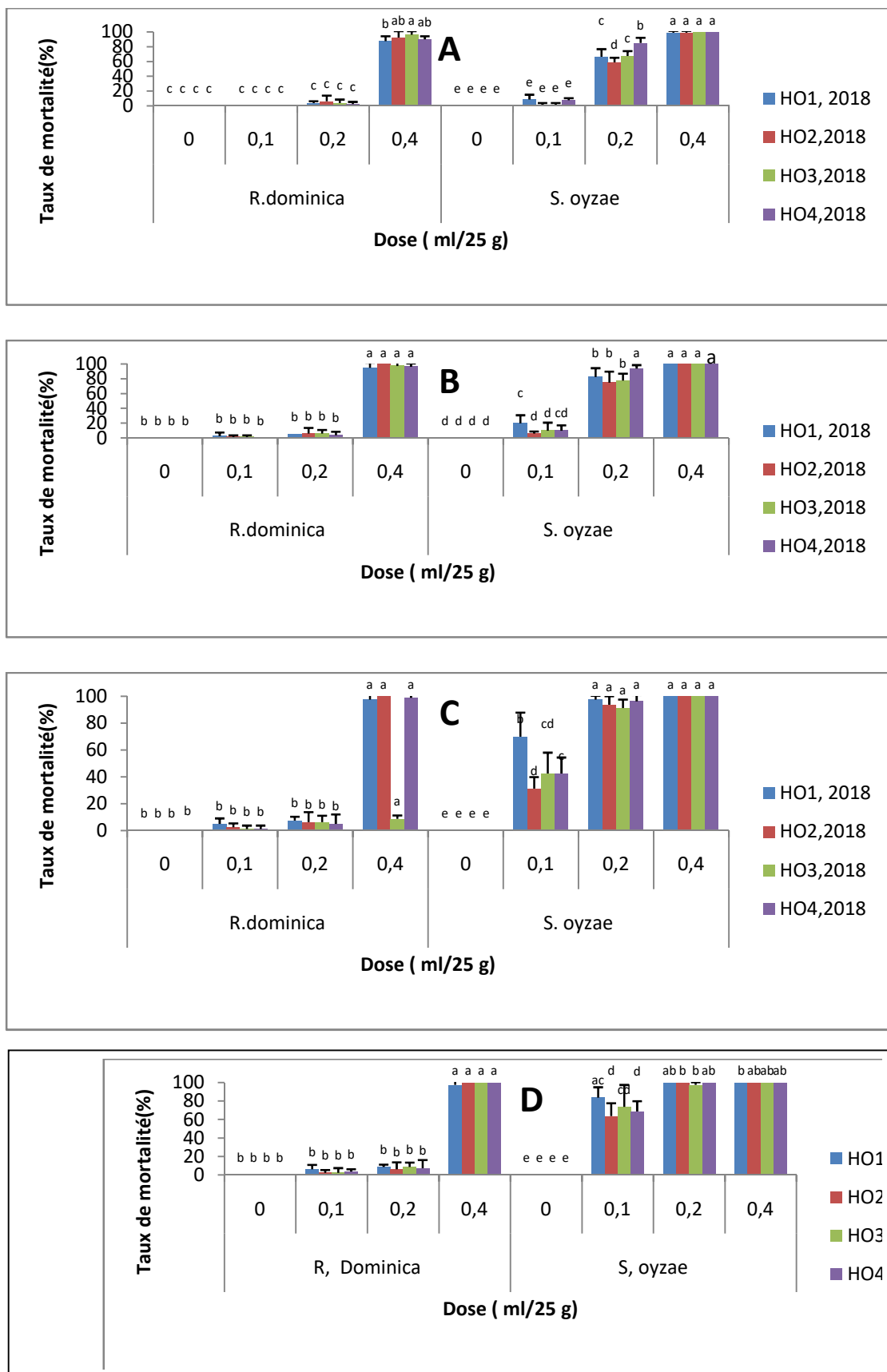


Figure 23. Pourcentage de mortalité cumulée (% $\pm$ ET) des adultes de *R. dominica* et *S. oyzae* exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé dur traités avec quatre huiles d' olives récoltées en 2018, selon les doses. Les moyennes dont les barres d'erreur portent une même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$

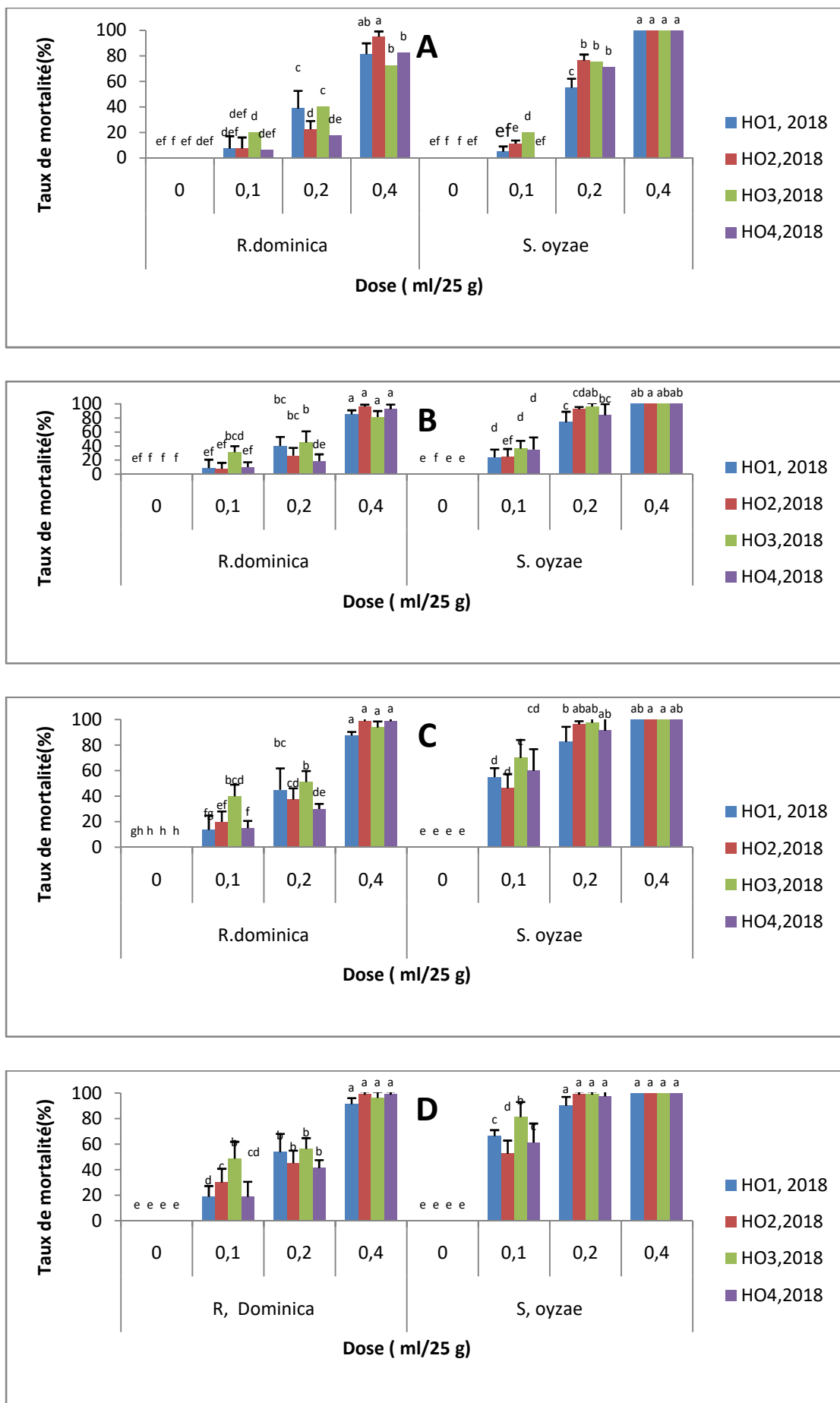


Figure 24. Pourcentage de mortalité cumulée (% $\pm$ ET) des adultes de *R. dominica* et *S. oyzae* exposés pendant 24 h (A), 48 h (B), 72 h (C) et 96 h (D) aux grains de blé tendre traités avec quatre huiles d'olives récoltées en 2018, selon les doses. Les moyennes dont les barres d'erreur portent une même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$

Tableau 11. Toxicité par contact (DL_{50} médiane) des huit huiles vis-à-vis des adultes de *S. oryzae* et de *R. dominica* infestant les graines de blé dur et de blé tendre après 72 h d'exposition.

Campagne oleicole	Insectes	Substrat alimentaire	HO1	HO2	HO3	HO4
2016/2017	<i>S. oryzae</i>	Blé dur	0.025	0.027	0.022	0.060
		Blé tendre	0.005	0.037	0.037	0.044
	<i>R. dominica</i>	Blé dur	0.183	0.166	0.175	0.149
		Blé tendre	0.189	0.152	0.154	0.148
	<i>S. oryzae</i>	Blé dur	0.072	0.117	0.107	0.103
		Blé tendre	0.104	0.100	0.072	0.093
2017/2018	<i>R. dominica</i>	Blé dur	0.226	0.206	0.233	0.235
		Blé tendre	0.201	0.179	0.142	0.179

3.3.2. Effectif des descendants de la première génération

La descendance a été significativement affectée par les facteurs espèce d'insecte ($P = 2.2e-16$), dose ($P = 2.2e-16$), origine de l'huile ($P = 1.05e-06$), année agricole ($P = 2.2e-16$) et type de substrat ($P = 2.2e-16$).

Il ressort des résultats obtenus (tableau 12 et 13), que l'effectif des émergences le plus élevé est observé chez *S. oryzae* et *R. dominica* dans les lots témoins, il varie en moyenne de 23.25 à 104.25 (blé dur) et de 25.50 à 84.25 avec le blé tendre. Nous remarquons, en revanche, que l'effectif des descendants du ravageur est inversement proportionnel à la dose utilisée dans les lots traités. En effet, chez *R. dominica* infestant les deux substrats, ce taux atteignant 104.25 adultes (témoin), diminue au fur et à mesure que la dose augmente pour s'annuler à la plus forte dose, pour l'ensemble des traitements. Pour *S. oryzae*, nous avons constaté une absence d'émergence dans tous les lots traités avec toutes les huiles testées aux différentes doses (tableau 12 et 13).

Tableau 12. Nombre moyen d'individus qui émergent (nombre d'individus / boîte $\pm$ ET) chez *S.oryzae* et *R.dominica* des grains de blé dur et du blé tendre traités avec les quatre huiles extraites des olives récoltées en 2017, selon la dose. (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$).

Campagne oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose (ml/25g)	Huiles			
				HO1	HO2	HO3	HO4
2016/2017	<i>S.oryzae</i>	Blé dur	0	23.25 $\pm$ 4.79 (a)	23.25 $\pm$ 4.79 (a)	23.25 $\pm$ 4.79 (a)	23.25 $\pm$ 4.79 (a)
			0,1	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,2	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0	25.50 $\pm$ 5.26 (a)	25.50 $\pm$ 5.26 (a)	25.50 $\pm$ 5.26 (a)	25.50 $\pm$ 5.26 (a)
		Blé tendre	0,1	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,2	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)

Tableau 12. Nombre moyen d'individus qui émergent (nombre d'individus / boîte $\pm$ ET) chez *S.oyzae* et *R.dominica* des grains de blé dur et du blé tendre traités avec les quatre huiles extraites des olives récoltées en 2017, selon la dose. (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$) (Suite).

Campagne oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose (ml/25g)	Huiles			
				HO1	HO2	HO3	HO4
2016/2017	<i>R.dominica</i>	Blé dur	0	104.25 $\pm$ 17.57 (a)	104.25 $\pm$ 17.57 (a)	104.25 $\pm$ 17.57 (a)	104.25 $\pm$ 17.57 (a)
			0,1	23.75 $\pm$ 16.11 (bc)	10.75 $\pm$ 6.60 (bcd)	25.25 $\pm$ 10.18 (b)	28.50 $\pm$ 7.42 (b)
			0,2	0.50 $\pm$ 0.58 (d)	0.50 $\pm$ 0.58 (d)	0.00 $\pm$ 0.00 (d)	0.00 $\pm$ 0.00 (d)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (d)	0.00 $\pm$ 0.00 (d)	0.00 $\pm$ 0.00 (d)	0.00 $\pm$ 0.00 (cd)
		Blé tendre	0	84.25 $\pm$ 22.69 (a)	84.25 $\pm$ 22.69 (a)	84.25 $\pm$ 22.69 (a)	84.25 $\pm$ 22.69 (a)
			0,1	6.00 $\pm$ 4.55 (b)	1.50 $\pm$ 1.73 (b)	1.25 $\pm$ 1.26 (b)	3.50 $\pm$ 3.51 (b)
			0,2	0.25 $\pm$ 0.50 (b)	0.25 $\pm$ 0.50 (b)	0.25 $\pm$ 0.50 (b)	0.50 $\pm$ 0.58 (b)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.0 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)

Tableau 13. Nombre moyen d'individus qui émergent (nombre d'individus / boîte $\pm$ ET) chez *S.oryzae* et *R.dominica* des grains de blé dur et du blé tendre traités avec les huiles extraites des olives récoltées en 2018, selon la dose. (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$).

Campagne oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose (ml/25g)	Huiles			
				HO1	HO2	HO3	HO4
2017/2018	<i>S.oryzae</i>	Blé dur	0	23.25 $\pm$ 4.79 (a)	23.25 $\pm$ 4.79 (a)	23.25 $\pm$ 4.79 (a)	23.25 $\pm$ 4.79 (a)
			0,1	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,2	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
		Blé tendre	0	25.5 $\pm$ 5.26 (a)	25.5 $\pm$ 5.26 (a)	25.5 $\pm$ 5.26 (a)	25.5 $\pm$ 5.26 (a)
			0,1	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,2	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)

Tableau 13. Nombre moyen d'individus qui émergent (nombre d'individus / boîte $\pm$ ET) chez *S.oyzae* et *R.dominica* des grains de blé dur et du blé tendre traités avec les huiles extraites des olives récoltées en 2018, selon la dose. (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$) (suite) .

Campagne oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose (ml/25g)	Huiles			
				HO1	HO2	HO3	HO4
2017/2018	<i>R.dominica</i>	Blé dur	0	116.5 $\pm$ 53.54 (a)	116.5 $\pm$ 53.54 (a)	116.5 $\pm$ 53.54 (a)	116.5 $\pm$ 53.54 (a)
			0,1	32.75 $\pm$ 11.67 (b)	45.75 $\pm$ 16.92 (b)	26.50 $\pm$ 10.78 (b)	15.25 $\pm$ 10.34 (b)
			0,2	1.0 $\pm$ 0.82 (b)	0.25 $\pm$ 0.50 (b)	0.50 $\pm$ 0.58 (b)	0.50 $\pm$ 0.58 (b)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
		Blé tendre	0	92.5 $\pm$ 10.78 (a)	92.5 $\pm$ 10.78 (a)	92.5 $\pm$ 10.78 (a)	92.5 $\pm$ 10.78 (a)
			0,1	11.75 $\pm$ 2.06 (b)	4.75 $\pm$ 0.50 (b)	3.0 $\pm$ 4.08 (b)	7.0 $\pm$ 5.48 (b)
			0,2	0.75 $\pm$ 0.96 (b)	0.25 $\pm$ 0.50 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)

3.4. Effet des huiles végétales sur les caractéristiques des grains

3.4.1. Effet des six traitements sur la perte en poids des graines traitées

La perte de poids des graines de blé dépend d'une façon significative de l'espèce d'insecte ravageur qui l'infeste ($P = 2.2e-16$), de la dose du traitement ($P = 2.2e-16$), de l'année agricole ($P = 2.2e-16$), de la nature de la substance testée ($P < 0.001$) et du type de substrat ($P = 2.2e-16$).

D'après les résultats obtenus (tableau 14, 15), nous observons sur les deux substrats testés (blé dur et blé tendre), que *R.dominica* provoque des pertes pondérales plus importantes dans les lots témoins ($>7.0\%$). Par contre, dans les lots traités aux huiles de différentes régions et des deux campagnes oléicoles, on observe une réduction considérable des pertes en poids, au fur à mesure de l'augmentation de la dose de traitement. Pour l'ensemble des huiles testées, le traitement avec la dose 0,4ml préserve complètement les graines de blé dur des attaques de *R.dominica*, en effet, aucune perte en poids n'a été enregistrée.

Pour *S. oryzae*, en l'absence d'éclosion dans les lots traités avec l'ensemble des huiles, aux différentes doses testées, aucune perte en poids n'a été également enregistrée (tableau 14, 15).

Tableau 14. Taux moyen des pertes en poids (%±SE) des grains de blé dur et de blé tendre infestés par *S.oryzae* et *R.dominica* et traités avec quatre huiles extraites des olives récoltées en 2017, selon la dose. (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$).

Campagne Oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose (ml/25g)	Huiles			
				HO1	HO2	HO3	HO4
2016/2017	<i>S.oryzae</i>	Blé dur	0	2.61±0.73 (a)	2.61±0.73 (a)	2.61±0.73 (a)	2.61±0.73 (a)
			0,1	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)
			0,2	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)
			0,4	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)
		Blé tendre	0	2.36±0.66 (a)	2.36±0.66 (a)	2.36±0.66 (a)	2.36±0.66 (a)
			0,1	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)
			0,2	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)
			0,4	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)	0.00±0.00 (b)

Tableau 14. Taux moyen des pertes en poids (% $\pm$ SE) des grains de blé dur et de blé tendre infestés par *S.oryzae* et *R.dominica* et traités avec quatre huiles extraites des olives récoltées en 2017, selon la dose. (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$) (Suite).

Campagne Oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose (ml/25g)	Huiles			
				HO1	HO2	HO3	HO4
2016/2017	<i>R.dominica</i>	Blé dur	0	7.42 $\pm$ 0.85 (a)	7.42 $\pm$ 0.85 (a)	7.42 $\pm$ 0.85 (a)	7.42 $\pm$ 0.85 (a)
			0,1	2.69 $\pm$ 0.69 (bc)	1.95 $\pm$ 0.25 (cd)	2.91 $\pm$ 0.61 (b)	2.91 $\pm$ 0.61 (b)
			0,2	1.27 $\pm$ 0.07 (d)	1.11 $\pm$ 0.18 (d)	1.11 $\pm$ 0.18 (d)	1.25 $\pm$ 0.06 (d)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (e)	0.00 $\pm$ 0.00 (e)	0.00 $\pm$ 0.00 (e)	0.00 $\pm$ 0.00 (e)
		Blé tendre	0	8.17 $\pm$ 2.09 (a)	8.17 $\pm$ 2.09 (a)	8.17 $\pm$ 2.09 (a)	8.17 $\pm$ 2.09 (a)
			0,1	2.018 $\pm$ 0.25 (b)	1.56 $\pm$ 0.17 (b)	1.31 $\pm$ 0.20 (b)	1.62 $\pm$ 0.30 (b)
			0,2	1.26 $\pm$ 0.04 (b)	1.02 $\pm$ 0.07 (b)	1.00 $\pm$ 0.13 (b)	0.88 $\pm$ 0.09 (b)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)

Tableau 15. Taux moyen des pertes en poids (% $\pm$ ET) des grains de blé dur et de blé tendre infestés par *S.oryzae* et *R.dominica* et traités avec quatre huiles extraites des olives récoltées en 2018, selon la dose. (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$).

Campagne Oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose	HO1	HO2	HO3	HO4
			(ml/25g)				
2017/2018	<i>S.oryzae</i>	Blé dur	0	2.61 $\pm$ 0.73 (a)	2.61 $\pm$ 0.73 (a)	2.61 $\pm$ 0.73 (a)	2.61 $\pm$ 0.73 (a)
			0,1	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,2	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
		Blé tendre	0	2.36 $\pm$ 0.66 (a)	2.36 $\pm$ 0.66 (a)	2.36 $\pm$ 0.66 (a)	2.36 $\pm$ 0.66 (a)
			0,1	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,2	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)	0.00 $\pm$ 0.00 (b)

Tableau 15. Taux moyen des pertes en poids (% $\pm$ ET) des grains de blé dur et de blé tendre infestés par *S.oryzae* et *R.dominica* et traités avec quatre huiles extraites des olives récoltées en 2018, selon la dose. (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$) (Suite).

Campagne Oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose	HO1	HO2	HO3	HO4
			(ml/25g)				
2017/2018	<i>R.dominica</i>	Blé dur	0	7.75 $\pm$ 3.39 (ab)	7.75 $\pm$ 3.39 (ab)	7.75 $\pm$ 3.39 (ab)	7.75 $\pm$ 3.39 (b))
			0,1	3.90 $\pm$ 0.31 (cde)	5.11 $\pm$ 1.11 (ac)	4.07 $\pm$ 0.66 (cd)	3.53 $\pm$ 0.51 (cdef)
			0,2	2.51 $\pm$ 0.74 (cde)	2.85 $\pm$ 0.17 (cdef)	2.53 $\pm$ 0.24 (cdef)	2.84 $\pm$ 0.25 (cdef)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (f)	0.00 $\pm$ 0.00 (ef)	0.00 $\pm$ 0.00 (def)	0.00 $\pm$ 0.00 (def)
		Blé tendre	0	9.62 $\pm$ 1.07 (a)	9.62 $\pm$ 1.07 (a)	9.62 $\pm$ 1.07 (a)	9.62 $\pm$ 1.07 (a)
			0,1	4.43 $\pm$ 0.39 (b)	3.69 $\pm$ 0.47 (bc)	3.23 $\pm$ 0.47 (c)	3.73 $\pm$ 0.29 (bc)
			0,2	2.96 $\pm$ 0.24 (c)	2.87 $\pm$ 0.12 (c)	2.78 $\pm$ 0.12 (c)	2.64 $\pm$ 0.17 (c)
			0,4	0.00 $\pm$ 0.00 (d)	0.00 $\pm$ 0.00 (d)	0.00 $\pm$ 0.00 (d)	0.00 $\pm$ 0.00 (d)

3.4.2. Effet des six traitements sur le taux de germination des graines de blé

L'ensemble des paramètres étudiés agissent significativement sur le taux de germination des graines de blé, la dose de traitement ($P=1.158e-05$), l'origine de l'huile ($P=1.158e-05$), le substrat ($P=3.413e-14$), l'année de récolte des olives ($P=2.2e-16$) et l'espèce d'insecte ($P=2.2e-16$).

Les résultats obtenus (tableau 16, 17) montrent que les deux coléoptères étudiés affectent la faculté germinative des graines dans les lots témoins (non traités et infestés), qui varie de 43 à 82.5 (blé dur) et de 49.50 à 69.5 (blé tendre). Nous remarquons aussi que le taux de germination des semences de blé dur et de blé tendre, traitées avec les diverses huiles, diminue au fur et à mesure que la dose augmente, et que la germination des graines traitées avec les huiles d'olive de la campagne de 2018 semble moins affectée par les traitements que celle des graines traitées avec les huiles issues des olives récoltées en 2017. En effet, ce taux oscille entre 27 à 77, 5 % (*S. oryzae*) et de 24.5 à 79.5 % (*R. dominica*) (tableau 16 et 17).

Tableau 16. Taux de germination (%±ET) des graines de blé dur et de blé tendre, traitées avec les quatre huiles extraites des olives récoltées en 2017, selon la dose de traitement (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$).

Campagne Oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose (ml/25g)	Huiles			
				HO1	HO2	HO3	HO4
2016/2017	<i>S.oryzae</i>	Blé dur	0	82.5±4.43 (ab)	82.5±4.43 (b)	82.5±4.43 (ab)	82.5±4.43 (b)
			0,1	61.0±3.46 (cdefg)	67.5±9.9 (ac)	64.5±11.0 (cd)	62.5±9.43 (cde)
			0,2	43.5±11.70 (fg)	54.0±7.48 (cdefg)	46.5±9.15 (efg)	47.5±7.72 (defg)
			0,4	27.0±14.65 (h)	49.0±7.39 (defg)	41.0±2.58 (g)	46.0±7.48 (efg)
		Blé tendre	0	67.0±14.09 (a)	67.0±14.09 (a)	67.0±14.09 (a)	67.0±14.09 (a)
			0,1	58.50±3.79 (ab)	59.50±10.63 (a)	66.50±7.55 (a)	60.5±6.81 (a)
			0,2	37.0±6.22 (bc)	51.0±6.63 (abc)	55.50±6.40 (abc)	56.0±10.19 (abc)
			0,4	35.5±11.12 (c)	49.0±8.25 (abc)	46.5±5.51 (abc)	48.0±6.93 (abc)

Tableau 16. Taux de germination (% $\pm$ ET) des graines de blé dur et de blé tendre, traitées avec les quatre huiles extraites des olives récoltées en 2017, selon la dose de traitement (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$) (suite).

Campagne Oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose (ml/25g)	Huiles			
				HO1	HO2	HO3	HO4
2016/2017	<i>R.dominica</i>	Blé dur	0	49.50 $\pm$ 3.42 (ef)	49.50 $\pm$ 3.42 (cdef)	49.50 $\pm$ 3.42 (cef)	49.50 $\pm$ 3.42 (cdef)
			0,1	70.0 $\pm$ 5.16 (ab)	77.5 $\pm$ 3.00 (a)	70.0 $\pm$ 2.83 (ab)	61.5 $\pm$ 7.55 (bcd)
			0,2	47.5 $\pm$ 9.85 (ef)	61.5 $\pm$ 5.00 (bd)	46.0 $\pm$ 4.32 (efg)	40.5 $\pm$ 6.61 (fg)
			0,4	40.5 $\pm$ 6.61 (fg)	50.0 $\pm$ 7.12 (cde)	34.5 $\pm$ 12.79 (g)	38.0 $\pm$ 3.27 (fg)
		Blé tendre	0	69.50 $\pm$ 5.26 (b)	69.5 $\pm$ 5.26 (ab)	69.5 $\pm$ 5.26 (b)	69.5 $\pm$ 5.26 (ab)
			0,1	53.0 $\pm$ 4.76 (de)	79.5 $\pm$ 4.43 (a)	41.0 $\pm$ 3.83 (fg)	50.5 $\pm$ 5.74 (def)
			0,2	44.50 $\pm$ 4.43 (efg)	64.5 $\pm$ 5.51 (ab)	29.5 $\pm$ 4.43 (hi)	36.0 $\pm$ 6.93 (gh)
			0,4	43.0 $\pm$ 10.39 (efg)	57.5 $\pm$ 5.74 (cd)	24.50 $\pm$ 3.00 (i)	34.0 $\pm$ 2.83 (gh)

Tableau 17. Taux de germination (% $\pm$ ET) des graines de blé dur et de blé tendre traitées avec les quatre huiles extraites des olives récoltées en 2018, selon la dose de traitement (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$).

Campagne oléicole	Espèce d'insecte	Substrat	Dose (ml/25g)	Huiles			
				HO1	HO2	HO3	HO4
2017/2018	<i>S.oryzae</i>	Blé dur	0	82.5 $\pm$ 4.43 (ab)	82.5 $\pm$ 4.43 (a)	82.5 $\pm$ 4.43 (ab)	82.5 $\pm$ 4.43 (a)
			0,1	72.5 $\pm$ 4.72 (a)	77.0 $\pm$ 6.63 (ab)	51.5 $\pm$ 2.52 (cde)	61.0 $\pm$ 6.00 (c)
			0,2	58.0 $\pm$ 2.834 (cd)	59.5 $\pm$ 1.91 (c)	42.5 $\pm$ 3.41 (e)	51.5 $\pm$ 8.69 (cde)
			0,4	49.0 $\pm$ 4.76 (de)	48.5 $\pm$ 6.61 (de)	31.0 $\pm$ 6.22 (ef)	27.0 $\pm$ 6.00 (f)
		Blé tendre	0	67.0 $\pm$ 14.09 (ab)	67.0 $\pm$ 14.09 (ab)	67.0 $\pm$ 14.09 (ab)	67.0 $\pm$ 14.09 (ab)
			0,1	70 $\pm$ 7.12 (ab)	77.5 $\pm$ 4.73 (a)	68 $\pm$ 9.52 (ab)	63.5 $\pm$ 5.26 (ab)
			0,2	59.0 $\pm$ 18.0 (ab)	59.0 $\pm$ 10.52 (ab)	55.0 $\pm$ 7.75 (ab)	55.5 $\pm$ 13.50 (ab)
			0,4	53.5 $\pm$ 9.71 (ab)	49.0 $\pm$ 7.75 (b)	44.5 $\pm$ 4.12 (b)	43.0 $\pm$ 12.81 (b)

Tableau 17. Taux de germination (% $\pm$ ET) des graines de blé dur et de blé tendre traitées avec les quatre huiles extraites des olives récoltées en 2018, selon la dose de traitement (dans chaque rangée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Dunn à $P = 0,05$).

Campagne oléicole	Espèce d'insecte	substrat	Dose (ml/25g)	Huiles			
				HO1	HO2	HO3	HO4
2017/2018	<i>R.dominica</i>	Blé dur	0	43 $\pm$ 19.07 (bc)	43 $\pm$ 19.07 (bc)	43 $\pm$ 19.07 (bc)	43 $\pm$ 19.07 (bc)
			0,1	53.5 $\pm$ 4.12 (ab)	69.0 $\pm$ 12.4 (a)	51.5 $\pm$ 10.50 (ab)	36.0 $\pm$ 6.73 (bc)
			0,2	38.5 $\pm$ 5.74 (bc)	35.0 $\pm$ 8.87 (bc)	30.0 $\pm$ 5.66 (bc)	28.5 $\pm$ 5.97 (bc)
			0,4	28.5 $\pm$ 2.52 (bc)	20.0 $\pm$ 7.12 (c)	16.0 $\pm$ 9.09 ©	18.50 $\pm$ 6.40 ©
		Blé tendre	0	49.5 $\pm$ 9.98 ((cd)	49.5 $\pm$ 9.98 (cd)	49.5 $\pm$ 9.98 (cd)	49.5 $\pm$ 9.98 (cd)
			0,1	79.5 $\pm$ 3.0 (a)	71.50 $\pm$ 7.19 (ab)	70.0 $\pm$ 9.93 (ab)	70.5 $\pm$ 7.19 (ab)
			0,2	53.5 $\pm$ 4.43 (cd)	58.5 $\pm$ 11.47 (bcd)	64.5 $\pm$ 6.19 (abc)	52 $\pm$ 3.27 (cd)
			0,4	45.0 $\pm$ 6.22 (d)	51.0 $\pm$ 7.57 (cd)	51.0 $\pm$ 9.02 (cd)	51.5 $\pm$ 4.43 (cd)

4-Discussion

Cette étude nous a permis de mettre en évidence la bioactivité des huiles d'olives provenant des différents vergers sur deux des principaux insectes ravageurs des céréales stockées, *R. dominica* et *S.oryzae*. En effet, ces huiles ont manifesté une toxicité par contact vis-à-vis des adultes de ces nuisibles, une réduction significative de leur descendance et par conséquent celle des pertes en poids occasionnées aux grains. Par ailleurs, l'efficacité des traitements varie selon la campagne oléicole, l'origine et la dose de ces substances naturelles. Ces résultats confirment ceux des études antérieures qui ont mis en évidence l'efficacité de différentes huiles végétales pour protéger les grains de céréales contre les dommages causés par différentes espèces d'insectes des produits stockés (Saxena et Singh 1994 ; Abdallah et al., 2001 ; Chander, 2003 ; Rahman et al., 2003 ; Adebawale et Adedire, 2006; Yadav et al., 2008 ; Fogang et al., 2012 ; Hossain et al., 2014 ; Rayhan et al., 2014 ; Gumaa et Elamin, 2015 ; Wahedi et al., 2015 ; Chakravarty et al., 2020).

Les résultats obtenus révèlent, par ailleurs, qu'après traitement des semences de blé dur et de blé tendre, à la dose de 0,4ml/25g, les adultes de *R. dominica* et *S.oryzae* vivent moins de 24 heures, empêchant ainsi les femelles de pondre, et par conséquent, l'émergence de nouveaux descendants. Des observations similaires ont été rapportées par d'autres auteurs (Uvah et Ishaya ,1992 ; Ibrahim, 2012 ; uddin et sanusi , 2013 ; Parmar et Patel, 2015; Ekoja et Ogah, 2020) sur la toxicité de l'huile d'olive et d'autres huiles végétales vis-à-vis de *C. maculatus* infestant les graines de niébé.

D'autres auteurs comme Wale et Assegie (2015) ont constaté que l'huile de ricin, appliquée à une dose de 4ml, contre *S. zeamais* provoque une mortalité de 85 % après 1 heure d'exposition. En outre, les huiles végétales d'arachide, de colza et de tournesol, à raison de 10 ml/kg de grain, ont entraîné une mortalité considérable chez les adultes de *S. granarius* (60 à 80%) en 14 jours (Tembo et Murfitt, 1995). Par ailleurs, le traitement des grains de maïs avec les huiles des graines de *Jatropha curcas* (1,50 µl / cm², pendant 3 h) a provoqué des mortalités moyennes d'environ 47 % chez *S. zeamais* (Babarinde et al., 2019).

Il en est de même pour Gemechu et al. (2013) qui ont démontré l'efficacité des huiles de moutarde et de coton (0.2 à 0.5 ml/250g de blé) qui provoquent des taux de mortalité variant de 25 à 100% et réduisent les pontes chez *S. zeamais*, sans affecter le pouvoir germinatif des graines. Les travaux de Kellouche *et al.* (2004) révèlent aussi que l'huile d'olive provoque une mortalité totale des adultes de *C. maculatus*, après 2 heures de traitement à la dose 0,8 ml/50g de graines de niébé.

Selon ce dernier auteur, ces traitements avec l'huile d'olive induisent la formation d'un film qui cause l'asphyxie de l'insecte ravageur, comme l'ont démontré également Ait Aider et al. (2016) chez *C. maculatus*. En outre, la mortalité des adultes peut avoir été causée par l'action des acides gras saturés et insaturés qui composent le profil chimique des huiles d'olives (Hill et Schoonhoven, 1981). Certains auteurs (Don-Pedro, 1990; Ait Aider et al., 2016) ont mis en évidence l'effet insecticide de l'acide oléique et de l'acide linoléique à l'encontre de *C. maculatus*.

Par ailleurs, Regnault-Roger et al. (2002) ont mis également en évidence l'activité insecticide de certains acides gras tels que l'acide oléique et l'acide undécylénique. Ces composés causent la rupture des membranes cellulaires, de la phosphorylation oxydative et de la cuticule des insectes (Weinzierl, 2000).

Plus récemment, les propriétés insecticides de certains acides gras volatils (acide formique, acétique, propiopique, butyrique et valérique) (Krzyżowski et al., 2020) et un mélange de trois acides gras libres, octanoïque, acides nonanoïque et décanoïque (Ramadan et al., 2020) ont été mises en évidence à l'égard de *C. maculatus*, *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Ptinidae) et *R. dominica*, respectivement.

La variation de la teneur en acide oléique et linoléique observée dans les échantillons d'huile d'olive obtenus à partir de la variété Chemlal est probablement liée à la fois à des facteurs génétiques et aux conditions environnementales pendant le développement et la maturité des fruits (Essiari et al., 2014 ; Rondanini et al., 2014 ; Ben Brahim et al., 2015 ; Piscopo et al., 2016 ; Borges et al., 2017 ; García-Inza et al., 2018 ; Mansouri et al., 2018).

Concernant l'effet des traitements sur les émergences chez *R. dominica* et *S. oryzae*, nous avons observé une réduction importante de l'effectif des descendants de la première génération lorsque la dose augmente et ce quelque soit l'origine géographique de l'huile testée. Ceci peut être une conséquence de la réduction de la ponte et des effets ovicide et larvicide des produits testés (Shaaya et al., 1997 ; Rolania et Bhargava, 2015). Cette toxicité a été également observée par de nombreux auteurs comme Singh et Mall (1991) chez *S. oryzae* exposée aux graines de blé tendre traitées avec les huiles de ricin, de neem, de moutarde et de lin (dose= 0,1%), Kellouche et al. (2004) chez *C. maculatus* (réduction des émergences supérieure à 90%) dans des traitements réalisés avec l'huile d'olive de 1ère et de 2ème pression, et Singh et al. (2016) qui ont mis en évidence l'activité biocide des huiles de neem et de ricin et ont enregistré une réduction significative de la descendance chez *R. dominica*.

Dans les lots traités avec les huiles d'olive, nous avons observé également une réduction très significative des pertes en poids des graines de blé infestées par *R. dominica* et *S. oryzae*, ce qui est très probablement la conséquence de la réduction des émergences des deux insectes ravageur comme l'ont observé Singh et Mall (1991) chez *S. oryzae*, infestant les grains de blé traités avec les huiles de ricin, de neem et de moutarde (0.1% v/w), ou Dey et Sarup (1993) avec ce même charançon sur les graines de maïs traitées avec les huiles de moutarde, de soja, des noix de coco, de neem, d'arachide, de sésame et de ricin. Les mêmes observations ont été faites, par ailleurs, par Kumawat et Naga (2013) ainsi que Khinchi et al. (2017), Akter et al. (2019) et Chakravarty et al. (2020) sur d'autres ravageurs comme *R. dominica*, avec les grains de blé ou de maïs, et *C. chinensis*, infestant le pois chiche ou le haricot mungo, dans les traitements avec plusieurs huiles végétales comme le neem, le ricin, la Karanj, l'arachide, le coton, la noix de coco, le sésame, le soja, le maïs, le palme et la moutarde, par exemple.

Concernant les tests de germination, les résultats obtenus révèlent que les traitements avec les différentes huiles ont affecté le pouvoir germinatif des grains de blé, comme l'ont rapporté Singh et al. (2016) en testant les huiles de neem et de ricin (0.1 à 0.20% v/w) sur *R. dominica* infestant les grains de blé, Hassan (2001) avec les huiles de sésame, de tournesol et de ricin (0.1 à 1.25 % v/w) sur *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae) et *S. granarius* infestant le blé et le sorgho. Cependant, Tembo et Murfitt (1995) ont indiqué que l'application de fortes doses des huiles d'arachide, de colza et de tournesol (10 ml/kg) contre *S. granarius* peut réduire considérablement la germination des graines de blé traitées comme l'ont également rapporté Yun-tai et Burkholder (1981) avec les huiles de graines de coton, de soja, de maïs et d'arachide (5 ou 10ml/kg de blé), et Ivbijaro (1984) en obtenant une viabilité des grains de maïs variant de 6 à 13 % après traitement avec l'huile d'arachide (10 à 20 ml/kg), comparativement aux lots témoins non traités (100 %).

5. Conclusion

Les résultats de nos tests montrent que les huit huiles d'olives testées sont très toxiques vis-à-vis de *R. dominica* et de *S. oryzae*. Cette toxicité varie selon l'origine géographique de l'huile, la dose, l'année de la récolte des olives, le type de substrat alimentaire et l'espèce d'insecte ravageur. Les valeurs de mortalités obtenues chez *S. oryzae* sont plus élevées que celles obtenus chez *R. dominica*, ceci montre la plus grande résistance aux traitements de petit capucin des grains.

Conclusion générale

L'intérêt des travaux réalisés est la valorisation d'un sous produit, le grignon d'olive qui génère chaque saison oléicole une grande pollution de l'environnement, comme solution alternative aux pesticides conventionnels, dans le cadre d'une lutte biologique contre les insectes ravageurs des grains de céréales stockés, comme *S. oryzae* et de *R. dominica*.

Les grignons d'olives et les olives utilisées pour l'extraction des huiles végétales ont été collectés dans quatre huileries et stations, respectivement, situées dans quatre localités représentatives de la région de la Kabylie. Il s'agit des régions de Maâtkas et Tadmait (wilaya de Tizi-Ouzou) et des régions de Bechloul et M'Chedellah (wilaya de Bouira).

Dans un premier temps, l'huile résiduelle est extraite des grignons à l'aide d'un solvant organique, l'hexane, dans un appareil de type Soxhlet. A la fin de chaque extraction le rendement en huile est déterminé. Les résultats montrent que le rendement le plus important a été obtenu avec les grignons de Tadmait (7.42) suivent ceux de M'Chedellah (5.89 %) puis Bechloul (5.53%) et Maâtkas (5.45 %). Les huiles d'olives de chaque localité et campagne oléicole ont été extraites séparément dans un oléodoseur dans les 48 h suivant la récolte.

Dans un deuxième temps, tous les échantillons d'huile de grignons et de l'huile d'olive ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques. La composition en acides gras a été effectuée par chromatographie en phase gazeuse (CPG).

Les résultats obtenus montrent que pour les échantillons d'huile d'olive extraits, durant la campagne de 2017-2018, et l'huile de grignon raffiné, l'acidité libre, l'indice de peroxyde (IP) et les absorptions spécifiques à 232 et 270 nm se situent généralement dans les limites légales de la catégorie HOEV et HGR. Pour les huiles de grignon brutes, les valeurs de l'acidité varient de 11.48 % à 34.13 % et celles de l'indice de peroxyde, de K_{232} et de K_{270} , 23.46 à 50.65 (meq d'O₂/kg), de 3.05 à 4.05 (nm) et de 0.55 à 1.06 (nm), respectivement. Cependant, la majorité des échantillons d'huiles, produits durant la campagne oléicole de 2016/2017, ont présenté des valeurs de K_{232} et K_{270} supérieures aux normes fixées (CEE 2568/91) pour les huiles d'olives vierge-extra et pour l'huile d'olive vierge, ce qui décline ces huiles vers la catégorie huile d'olive vierge courante.

L'analyse des acides gras des huiles de grignons d'olive brutes, de l'huile de grignon raffiné et des huiles d'olives, ont révélé des valeurs conformes à la plage normale attendue pour l'HOVE (EEC 2001). Les principaux acides gras sont l'acide oléique (59.03 à 79.25 %), l'acide palmitique (8.34 à 18.81 %) et l'acide linoléique (8.17 à 16.52 %). Les acides palmitoléique, stéarique et linoléique ont également été détectés mais en petites quantités.

La troisième et la dernière partie de cette étude est consacrée à l'évaluation des propriétés insecticides des huiles végétales extraites. Les essais biologiques menés dans les conditions de laboratoire ont montré des résultats illustrant bien leur efficacité à l'égard des adultes de *S. oryzae* et de *R. dominica*, infestant les semences de blé dur et de blé tendre. Par ailleurs, l'efficacité de ces substances testées est fortement dépendante du type d'huile testé, de la dose du traitement, de l'espèce d'insecte, de la durée d'exposition et de la campagne oléicole.

Après 24 heures d'exposition, les huiles de grignon et les huiles d'olives testées à la plus forte dose (0.4 ml /25g), se sont révélées très toxiques à l'égard des adultes de *S. oryzae* et *R. dominica* infestant les graines de blé dur et de blé tendre, le taux de mortalité est supérieur à 63 % chez les adultes des deux coléoptères étudiés. La comparaison des valeurs de mortalités et des DL_{50} (ml/25 g) indique que, *S. oryzae* peut être considérée comme plus sensible que *R. dominica* aux différents traitements testés.

Par ailleurs, les traitements ont également réduit de manière significative l'effectif des descendants de la 1^{ère} génération ; la ponte est complètement inhibée chez *S. oryzae* et *R. dominica*, à la plus forte dose (0.4 ml/25g), ce qui suggère une activité de ces substances naturelles sur les stades pré-imaginaux des 2 insectes ravageurs.

Ainsi, toutes les huiles testées ont considérablement réduit l'activité alimentaire de *R. dominica* et de *S. oryzae*, réduisant ainsi la perte de poids des grains de blé infestés, par rapport aux grains des lots témoins infestés mais non traités. En effet, aucune perte de poids n'a été constatée dans les grains traités avec 0,4 ml/25g pour l'ensemble des traitements.

En revanche, la germination des graines de blé dur et de blé tendre a été affectée de façon significative par les traitements, le pouvoir germinatif est, en effet, inférieur à 50 % à la plus forte dose (0.4 ml/25g). Nous avons également observé que cette phytotoxicité augmentait avec la concentration d'huile végétale. Les tests nous ont ainsi permis de mettre en évidence l'activité adulticide, ovicide et déterrente des huiles testées à l'égard de *R. dominica* et de *S. oryzae*.

Les résultats obtenus sont encourageants dans les systèmes de protection intégrée des récoltes qui conduisent à réduire l'utilisation des pesticides dont les effets sur la santé humaine et l'environnement sont bien connus. L'étude a permis également d'ouvrir une piste sur autre possibilité de valorisation des sous-produits oléicoles responsables d'une pollution sévère de l'environnement dans notre région.

Perspectives

Nous recommandons de mener d'autres études pour déterminer l'efficacité, la faisabilité technique et économique de l'utilisation des huiles végétales contre le charançon du riz et le petit capucin des grains, à une échelle pilote et d'évaluer leurs effets sur la qualité nutritionnelle des grains. Il est également intéressant de préciser les différents modes d'action de ces substances naturelles (contact, ingestion....). Enfin, nous recommandons de comparer l'activité biologique des huiles de différentes variétés d'olives locales et introduites (sigoise,, Bouchouk....).

Références bibliographiques

Abbott, WS., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18, 265-267.

Abdallah, SA., Badawy, HMA., Barakat, AA., El-Sabaay, TN., 2001. Efficacy of certain vegetable oils as wheat grain protectants against the lesser grains borer, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius). Bull Facult Agric Cairo Univ. 52, 167-82.

Abdelkader, B., 2013. The history of wheat breeding in Algeria. In Série A Mediterranean Seminars, No 110, Options Méditerranéennes, Proceedings of the International Symposium on Genetics and Breeding of Durum Wheat, Rome, Italy, 27–30.

Abdelli, M., Moghrani, H., Aboun, A., Maachi, R., 2016. Algerian *Mentha pulegium* L. leaves essential oil: chemical composition, antimicrobial, insecticidal and antioxidant activities. Ind Crops Prod. 94, 197-205.

Adak, T., Barik, N., Patil, N.B., Govindharaj, GPP., Gadratagi, BG., Annamalai, M., Rath, PC., 2019. Nanoemulsion of eucalyptus oil: An alternative to synthetic pesticides against two major storage insects (*Sitophilus oryzae*) (L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst) of rice. Ind Crops Prod. 111849.

Adarkwah, C., Obeng-Ofori, D., Büttner, C., Reichmuth, C., Scholler, M., 2012. Potential of *Lariophagus distinguendus* (Förster) (Hymenoptera: Pteromalidae) to suppress the maize weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) in bagged and bulk stored maize. Biol. Contr. 60, 175-181.

Adarkwah, C., Obeng-Ofori, D., Opuni-Frimpong, E., Ulrichs, C., Scholler, M., 2019. Predator-parasitoid-host interaction: biological control of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus oryzae* by a combination of *Xylocoris flavipes* and *Theocolax elegans* in stored cereals. Entomol. Exp. Appl. 167, 118-128.

Adebowale, KO., Adedire, CO., 2006. Chemical composition and insecticidal properties of the underutilized *Jatropha curcas* seed oil. Afr. J. Biotechnol. 5, 901–906.

Adedire, CO., Obembe, OO., Akinkurolele, RO., Oduleye, O., 2011. Response of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) to extracts of cashew kernels. J. Plt Dis. Prot. 118 (2), 75- 79.

Adel, I., Seada, MA., Arab, RA., Seif, AI., 2015. Efficacy of three local Egyptian essential oils against the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and the

cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: bruchidae). Egypt. J. Exp. Biol. 11, 95-105.

Agrafioti, P., Athanassiou, CG., Nayak, MK., 2019. Detection of phosphine resistance in major stored-product insects in Greece and evaluation of a field resistance test kit. J. Stored Prod. Res. 82, 40–47

Ahmed, K., Itino, T., Ichikawa, T., 1999. Effects of plant oils on oviposition preference and larval survivorship of *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae) on azuki bean. Appl. Entomol. Zool. 34 (4), 547-550.

Ahmed, K., Khalique, F., Afzali, M., Tahir, M., Malik, BA., 1989. Variability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes for resistance to *Callosobruchus maculatus* F. (Bruchidae). J. Stored Prod. Res. 25 (2), 97-99.

Ahmed, KS., 1996. Studies on the ectoparasitoid, *Anisopteromalus calandrae* How. (Hymenoptera: Pteromalidae) as a biocontrol agent against the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Fab.) in Saudi Arabia. J. Stored Prod. Res. 32, 137-140.

Ahmed, M., 1990. Irradiation disinfestation of stored foods, Proc. 5th Int. Work Conference Bordeaux, France. Sept. 9-14, IAEA, Vienna, Austria, 1105.

Ait aider, FA., Kellouche, A., Fellag, H., Debras, JF., 2016. Evaluation of the bio-insecticidal effects of the main fatty acids of olive oil on *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) in cowpea (*Vigna unguiculata*) (L.). JPDP. 123, 235-245.

Aitken, AD., 1975. Insect travellers, I: Coleoptera. Technical Bulletin 31. H.M.S.O, London, U.K.190 pp.

Ajao, SK., Poopola, KO., Mande, S., Togola, A., 2019. Resistance levels of selected rice genotypes to *Sitophilus oryzae* L. and *Rhyzopertha dominica* F. infestations. The Zoologist. 17, 39-46.

Akay, F., Kazan, A., Celiktas, MS., Yesil-Celiktas, O., 2015. A holistic engineering approach for utilization of olive pomace. J Supercrit Fluids. 99, 1-7.

Akhtar, M., Arshad, M., Bakkar, A., Raza, M., Chaudhary, MI., Iram N., Akhtar, N., Mahmood, T., 2013. Repellent effects of certain plant extracts against rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). Int. J. Agric. Appl. Sci. 5, 69 -73.

Akpodiete, ON., Lale, NES., Umeozor, OC., Zakka, U., 2015. Role of physical characteristics of the seed on the stability of resistance of maize varieties to maize weevil (*Sitophilus Zeamais* Motschulsky). IOSR J Environ Sci Toxicol Food Technol. Ver II. 9 (2), 60–66.

- Akter, S., Sultana, S., Akter, T., Begum, S., 2019.** Oviposition deterrent and ovicidal activity of three edible oils (black seed, sesame and soybean oils) against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* (lin.) (Coleoptera: Bruchidae) on green gram, *Vigna radiata*. Bangladesh J. Zool. 47(1), 59-65.
- Al-Akhdar, H., Rasha, H., Zinhom, A., Nilly, A., Abdelfattah, H., 2019.** Microwave energy as an alternative control method for stored grain pests'. J Plant Prot Res. 2(4), 612-621.
- Ali, A., Sarwar, M., Khanzada, S., Abro, GH., 2011.** Evaluating resistance of wheat germplasms to attack by red flour beetle, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera). Pak. J. Zool. 43 (4), 793-797.
- Ali, SI., Singh, OP., Misra, US., 1983.** Effectiveness of plant oils against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* Linn. Indian J. Entomol. 45, 6-9.
- Alleoni, B., Ferreira, W., 2006.** Control of *Sitophilus zeamais* Mots., 1958 and *Sitophilus oryzae* (L., 1763) weevils (Coleoptera, Curculionidae) in stored corn grain (*Zea mays* L.) with insecticide pirimiphos methyl (Actellic 500 CE), pp. 1218-1225. In Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection. ABRAPOS. Passo Fundo, Brazil.
- Alonso-Salces, M., Gallo, B., Collado, MI., Sasía-Arriba, A., Viacava, GE., García-Gonzalez, DL., Toschi, TG., Servili, M., Berrueta, LA., 2021.** H-NMR fingerprinting and supervised pattern recognition to evaluate the stability of virgin olive oil during storage. Food Control. 123, 107831.
- Amarni, F., Kadi, H., 2010.** Kinetics study of microwave-assisted solvent extraction of oil from olive cake using hexane: comparison with the conventional extraction. IFSET. 11, 322-327.
- Ameziane, H., Nounah, A., Khamar, M., Zouahri, A., 2020.** Composting olive pomace: Evolution of organic matter and compost quality. Agron. Res. 18(1), 5–17.
- Andersen, EJ., Ali, S., Byamukama, E., Yen, Y., Nepal, MP., 2018.** Disease resistance mechanisms in plants. Genes. 9, 339. <https://doi.org/10.3390/genes9070339>.
- Aoues, K., Boutoumi, H., Benrima, A., 2017.** État phytosanitaire du blé dur local stocké en Algérie. Revue Agrobiologia, 7(1). 286-296
- Aparicio, R., Harwood, J., 2013.** Handbook of olive oil: Analysis and properties. 2nd ed.; Springer: New York, NY, USA. pp. 163–395.

Arbogast, R.T., 1991. Beetles: Coleoptera, pp. 131-176. In: J.R. Gorham (Ed.), Ecology and Management of Food-Industry Pests. FDA Technical Bulletin 4. VA: Association of Analytical Chemists.

Aref, SP., Valizadegan, O., Farashiani, ME., 2015. *Eucalyptus dundasii* Maiden essential oil, chemical composition and insecticidal values against *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Oryzaephilus surinamensis* (L.). J. Plant Prot. Res. 55, 35–41.

Arslan, D., Karabekir, Y., Schreiner, M., 2013. Variations of phenolic compounds, fatty acids and some qualitative characteristics of Sarnulak olive oil as induced by growing area. Food Res. Int. 54(2), 1897–1906. doi:10.1016/j.foodres.2013.06.016.

Arthur, FH., 1997. Differential effectiveness of deltamethrin dust on plywood, concrete, and tile surfaces against three stored-product beetles. J. Stored Prod. Res. 33, 167-173.

Arthur, FH., 2012. Aerosols and contact insecticides as alternatives to methyl bromide in flour mills, food production facilities, and food warehouses. J PEST SCI. 85, 323–329.

Arthur, FH., Bean, SR., Smolensky, D., Cox, S., Lin, HH., Peiris, KHS., Petersen, J., 2020. Development of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) on sorghum: quality characteristics and varietal susceptibility. J. Stored Prod. Res. (In Press).

Arthur, FH., Ghimire, MN., Myers, SW., Phillips, TW., 2018. Evaluation of pyrethroid insecticides and insect growth regulators applied to different surfaces for control of *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae) the khapra beetle. J. Econ. Entomol. 111, 612–619.

Arthur, FH., Hartzer, KL., Throne, JE., Flinn, P., 2015. Susceptibility of *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Trogoderma inclusum* (Coleoptera: Dermestidae) to cold temperatures. J. Stored Prod. Res. 64, 45-53.

Arthur, FH., Starkus, LA., Gerken, AR., Campbell, JF., McKay, T., 2019. Growth and development of *Tribolium castaneum* (Herbst) on rice flour and brown rice as affected by time and temperature. J. Stored Prod. Res. 83, 73–77.

Ashouri, S., Shayesteh, N., 2010. Insecticidal activities of two powdered spices, black pepper and red pepper on adult *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Sitophilus granarius* (L.). Munis Entomol Zool. 5(2), 600 – 607.

Ashraf, M., Farooq, M., Shakeel, M., Din, N., Hussain, S., Saeed, N., Shakeel, Q., Rajput, A., 2017. Influence of entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae*, alone and in combination with diatomaceous earth and thiamethoxam on mortality, progeny production, mycosis, and sporulation of the stored grain insect pests. Environ. Sci. Pollut. Res. 24, 28165–28174.

Asla, T., 2002. Contribution à l'étude de l'efficacité des travaux de D.R.S. en Kabylie (W. de Tizi-Ouzou), état actuel et aspect morphologique des réseaux de banquettes. Utilisation d'un questionnaire d'enquête. Mémoire de magister en biologie. UMMTO.134pp.

Astuti, LP., Mudjiono, G., Rasminah, CH., Rahardjo, BT. 2013. Susceptibility of milled rice varieties to the lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica*, F). J. Agric. Sci. 5 (2), 145-149.

Atanda, AS., Agoda, S., Ihionu, GC., Usanga, AE., 2016. Protection of grains and cereals-A Review. App. Sci. Report. 13(2), 96-106.

Athanassiou, CG., Kavallieratos, NG., Campbell, JF., 2017. Competition of three species of *Sitophilus* on rice and maize. PLoS ONE. 12 (3), 0173377. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0173377>.

Athanassiou, CG., Kavallieratos, NG., Lazzari, FA., 2014. Insecticidal effect of Keepdry® for the control of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) on wheat under laboratory conditions. J. Stored Prod. Res. 59, 133-139.

Athie, I., Paula, DC., 2002. Insetos de graos armazenados: aspectos biológicos e identificação, second ed. Varela, Sao Paulo, 244 pp.

Atoui A., Boudour, L., Chaib, G., Boudersa, N., 2021. Evaluation of diversity in some genotypes of Algerian durum wheat using agronomical and biochemical markers. Biodiversitas. 22 (4), 2005-2011.

Attia, MA., Wahba, TF., Shaarawy, N., Moustafa, FI., Guedes, RNC., Dewar, Y., 2020. Stored grain pest prevalence and insecticide resistance in Egyptian populations of the red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) and the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.). J. Stored Prod. Res. 87, 101611.

Ayadi, M., Ahou, S., Awad, S., Abderrabba, M., Andres, Y., 2020. Production of biogas from olive pomace. Evergreen. 7 (2), 228–233 . doi:10.5109/4055224.

Babarinde, GO., Babarinde, SA., Ojediran, TK., Odewole, AF., Odetunde, DA., Bamido, TS., 2019. Chemical composition and toxicity of *Jatropha curcas* seed oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky as affected by pre-extraction treatment of seeds. Agric. Biotechnol. 21, 101333.

Babu, SR., Kumar, DSR., Sri, CNS., Madhumathi, T., 2017. Evaluation of spinosad against malathion and deltamethrin resistant population of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* in Andhra Pradesh, India. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 6, 165-171.

- Baccouri, B., Temime, SB., Campeol, E., Cioni, PL., Daoud, D., Zarrouk, M., 2007.** Application of solid-phase microextraction to the analysis of volatile compounds in virgin olive oils from five new cultivars. *Food Chem.* 102, 850–856.
- Baker, JE., 1986.** Amylase/proteinase ratios in larval midguts of ten stored product insects. *Entomol. Exp. Appl.* 40, 41–46.
- Bakri, A., Mehta, K., Lance, DR., 2005.** Sterilizing insects with ionizing radiation. *Sterile Insect Technique, Principles, and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management*, eds Dyck, VA., Hendrichs, J., Robinson, AS., (Springer, Dordrecht, The Netherlands), pp 233–268.
- Baldassari, N., Martini, A., 2014.** The efficacy of two diatomaceous earths on the mortality of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus oryzae*. *Bull. Insectol.* 67, 51-55.
- Bamaiyi, LJ., Dike, MC., Amd, OI., 2007.** Relative susceptibility of some sorghum varieties to the rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae). *J. Entomol.* 5, 387–392.
- Baysan, U., Koç, M., Güngör, A., Kaymak Ertekin, F., 2020.** Pre-drying of 2-phase olive pomace by drum dryer to improve processability. *Waste Biomass Valoriz.* 12, 2495–2506.
- Batta, Y., Saleh, A., Salameh, S., 2007.** Evaluation of the susceptibility of wheat cultivars to lesser grain borer (*Rhyzopertha dominica* F.), (Coleoptera: Bostrichidae). *Arab. J. Pl. Prot.* 25, 159-162.
- Beckett, SJ., 2011.** Insect and mite control by manipulating temperature and moisture before and during chemical-free storage. *J. Stored Prod. Res.* 47, 284–292.
- Beeman, RW., Nanis, SM., 1986.** Malathion resistance alleles and their fitness in the red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae). *J Econ Entomol.* 79,580–587.
- Bell, CH., 2000.** Fumigation in the 21st century. *Crop Prot.* 19, 563–569.
- Bellatreche, A., Mahdad, MY., Kaouadji, Z., Gaouar, SBS., 2017.** Agromorphological diversity of some accessions of bread wheat (*Triticuma aestivum*) in west Algeria. *Biodiversitas.*18(1),409-415.
- Belwal, T., Ezzat, SM., Rastrelli, L., Bhatt, ID., Daglia, M., Baldi, A., Devkota, HP., Orhan, IE., Patra, JK., Das, G., Anandharamakrishnan, C., Gomez-Gomez, L., Nabavi, SF., Nabavi, SM., Atanasov, AG., 2018.** A critical analysis of extraction techniques used for botanicals: trends, priorities, industrial uses and optimization strategies. *Trends Anal. Chem.* 100, 82–102.

Benbelkacem, A., KELLOU, K., 2000. Évaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var durum) cultivées en Algérie. In: Royo, C., Nachit, M., Di Fonzo, N., Araus, J.L. (Eds) Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges. 105-110. Ceheam, Zaragoza, Spain. (Options méditerranéens: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40).

Ben Brahim, S., Marrakchi, F., Gargouri, B., Bouaziz, M., 2015. Optimization of malaxing conditions using CaCO₃ as a coadjutant: A method to increase yield and quality of extra virgin olive oil cv. Chemlali. LWT. Food Sci. Technol. 63, 243–252.

Bendi-Djelloul, M., Amrani, S., Rovellini, P., Chenoune, C., 2020. Phenolic compounds and fatty acids content of some West Algerian olive oils. Comunicata Scientiae. J. Hortic.V.11. e 3247.

Bengana, M., Bakhouch, A., Lozano-Sánchez, J., Amir, Y., Youyou, A., Segura Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., 2013. Influence of olive ripeness on chemical properties and phenolic composition of Chemlal extra-virgin olive oil. Int. Food Res. J. 54, 1868 – 1875.

Biel, W., Kazimierska, K., Bashutska, U., 2020. Nutritional value of wheat, triticale, barley and oat grains. Acta Sci. Pol. Zootech. 19, 19–28.

Birch, LC., 1945. The mortality of the immature stages of *Calandra oryzae* L. (small strain) and *Rhyzopertha dominica* Fab. in wheat of different moisture contents. Aust J Exp Biol Med Sci. 23, 141-145.

Birch, LC., 1953. Experimental background to the study of the distribution and abundance of insects-I: the influence of temperature, moisture and food on the innate capacity for increase of three grain-beetles. Ecology. 34, 698-711.

Boukouvala, MC., Romano, D., Kavallieratos, NG., Athanassiou, CG., Stefanini, C., Conte, G., Canale, A., Benelli, G., 2020. Does geographical origin affect lateralization and male mating success in *Rhyzopertha dominica* beetles?. J. Stored Prod. Res. 88, 101630.

Borges, TH., Pereira, JA., Cabrera-Vique, C., Lara, L., Oliveira, AF., Seiquer, I., 2017. Characterization of Arbequina virgin olive oils produced in different regions of Brazil and Spain Physicochemical properties, oxidative stability and fatty acid profile. Food Chem. 215, 454–462.

Boskou, D. 1996. Olive oil composition, in Boskou D. (Ed.) Olive Oil: Chemistry and Technology, AOCS Press, Champaign, IL, USA, pp. 85-127.

Boskou, D., Blekas, G., Tsimidou, M., 2006. Olive oil composition. In Olive Oil: Chemistry and Technology; Boskou, D., Ed. Am. Oil Chem. Soc. Press: Champaign, IL, USA, pp. 1–33.

Boucheffa, S., Tamendjari, A., Sanchez-Gimeno, AC., Rovellini, P., Venturini, S., Di Rienzo, V., Miazzi, M.M., Montemurro, C., 2019. Diversity assessment of Algerian wild and cultivated olives (*Olea europaea* L.) by molecular, morphological, and chemical traits. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 121, 1800302.

Boudour, L., Gherroucha, H., Boukaboub, A., Bouchtab, K., Baka, M., Samra, K., 2011. Evaluation of genetic diversity of Algerian durum wheat (*Triticum durum* Desf.) collection. J Stress Physiol Biochem. 7 (3), 95-107.

Boudour-Benrachou, N., Plard, J., Pinatel, C., Artaud, J., Dupuy, N., 2017. Fatty acid compositions of olive oils from six cultivars from East and South-Western Algeria. Adv. Food Technol. Nutr. Sci. Open J. 3, 1–5.

Bounoua-Fraoucene, S., Kellouche, A., Debras, JF., 2019. Toxicity of four essential oils against two insect pests of stored grains, *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). Afr Entomol. 27(2), 344-359.

Boyer, S., Zhang, H., Lempérière, G., 2012. A review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects. Bull. Entomol. Res. 102 (2), 213–229.

Braga-Caneppele, MA., Caneppele, C., Lázzari, FA., Noemberg- Lázzari, SM., 2003. Correlation between infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zeamays* L. (Poaceae). Rev Bras Entomol. 47, 625-630.

Brand-Williams, W., Cuvelier, ME., Berset, CLWT., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT – Food Sci Technol. 28(1), 25–30.

Brower, JH., Smith, L., Vail, PV., Flinn, PW., 1995. Biological control. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. (Eds.), Integrated Management of Insects in Stored Products. Marcel Dekker, New York, pp. 223–286.

Bulathsinghala, A., Shaw, I., 2014. The toxic chemistry of methyl bromide. Hum. Exp. Toxicol. 31, 81-91.

Bumbrah, GS., Krishan, K., Kanchan, T., Sharma, M., Sodhi, GS., 2012. Phosphide poisoning: A review of literature. Forensic Sci Int. 214, 1-6.

CABI, 2017. *Sitophilus oryzae* (rice grain weevil), invasive species compendium datasheets. Cited from:<http://www.cabi.org/isc/datasheet/10887 #tab2?nav>.

Carnevale, R., Loffredo, L., Del Ben, M., Angelico, F., Nocella, C., Petruccioli, A., Bartimoccia, S., Monticolo, R., Cava, E., Visioli, F., 2017. Extra virgin olive oil improves post-prandial glycemic and lipid profile in patients with impaired fasting glucose. *Clin Nutr.* 36, 782–787.

Carvalho, MO., Pires, I., Barbosa, A., Barros, G., Riudavets, J., Garcia, AC., Navarro S., 2012. The use of modified atmospheres to control *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus oryzae* on stored rice in Portugal. *J. Stored Prod. Res.* 50, 49-56.

Casas, R., Estruch, R., Sacanella, E., 2018. The protective effects of extra virgin olive oil on immune-mediated inflammatory responses. *Endocr Metab. Immune Disord. Drug Targets.* 18, 23–35.

Cecchi, L., Migliorini, M., Giambanelli, E., A, Rossettib., A, Caneb , N, Mulinaccia., F, Melani., 2020. Authentication of the geographical origin of virgin olive oils from the main worldwide producing countries: a new combination of HS-SPME-GC-MS analysis of volatile compounds and chemometrics applied to 1217 samples. *Food Control.* 112, 107-156.

Chakravarty, MK., Prasanthi, SJ., Kumar, SKJR., 2020. Evaluation of eight plant oils against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* Linnaeus (Bruchidae: Coleoptera) in chickpea under storage conditions. *Entomol Zool Stud.* 8 (5), 1262-1267.

Chander, R., 2003. Host preference and bio-control studies of *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) on barley and its management. Ph.D (Agri.), Rajasthan Agricultural University, Bikaner, 243 pp.

Chanioti, S., Tzia, C., 2018. Extraction of phenolic compounds from olive pomace by using natural deep eutectic solvents and innovative extraction techniques. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 48, 228–239.

Chaves, MS., Martinelli, JA., Wesp-Guterres, C., Graichen, FAS., Brammer, SP., Scagliusi, SM., Consoli, L., 2013. The importance for food security of maintaining rust resistance in wheat. *Food Secur.* 5(2), 157-176.

Cheng, W., Lei, J., Fox, CW., Johnston, JS., Zhu-Salzman, K., 2015. Comparison of life history and genetic properties of cowpea bruchid strains and their response to hypoxia. *J. Insect Physiol.* 75, 5-11.

Chikihi, L., 2013. Algeria grain Crop Hit by Poor Rainfall, Recovery Seen Possible. <http://www.reuters.com/article/2013/04/07/algeria-grain-harvestidUSL5N0CU09V20130407>.

Chintzoglou, GJ., Athanassiou, CG., Markoglou, AA., Kavallieratos, NG. 2008. Influence of commodity on the effect of spinosad dust against *Rhyzopertha dominica* (F.)

(Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). Int. J. Pest Manag. 54, 277–285.

Chittenden, FH., 1911. The lesser grain borer and the larger grain borer. Bulletin of United State Bureau of Entomology. 96, 29-47.

Choudhury, SD., Chakraborty, K., 2014. Observation on the extent of grain weight loss due to the infestation of *Sitophilus Oryzae* in five selected rice cultivars. CIB Tech Journal of Zoology. 3 (3), 50-59.

Chougourou, DC., Togola, A., Nwilene, FE., Adeliossi, J., Bachabi, F., Oyetunji, OE., (2013). Susceptibility of some rice varieties to the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* Fab. (Coleoptera: Bostrichidae) in Benin. Res. J. Appl. Sci. 13(1), 173–177. <https://doi.org/10.3923/jas.2013.173.177>.

Christoforou, E., Fokaides, PA., 2016. A review of olive mill solid wastes to energy utilization techniques. J. Waste Manag. 49, 346–363.

Chuck-Hernandez, C., Serna-Saldívar, SO., García-Lara, S., 2013. Susceptibility of different types of sorghums during storage to *Sitophilus zeamais* Motschulsky. J. Stored Prod. Res. 54, 34-40.

Chûjô, M., 1958. Coleoptera: Bostrychidae. Insects of Micronesia. 16, 85-104.

Cinco-Moroyoqui, FJ., Rosas-Burgos, EC., Borboa-Flores, J., Cortez-Rocha, MO., 2006. Amylase activity of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) reared on several wheat varieties and its inhibition with kernel extracts. J. Econ. Entomol. 6, 2146-2150.

Clemente, A., Sanchez-Vioque, R., Vioque, J., Bautista, J., Millan, F. 1997. Chemical composition of extracted dried olive pomaces containing two and three phases. Food Technol. 11(3), 273–291.

Collins, PJ., Falk, MG., Nayak, MK., Emery, RN., Holloway, JC., 2017. Monitoring resistance to phosphine in the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*, in Australia: a national analysis of trends, storage types and geography in relation to resistance detections. J. Stored Prod. Res. 70, 25–36

Collins, PJ., Schlipalius, DI., 2018. Insecticide resistance. In: Athanassiou CG, Arthur FH (eds) Recent advances in stored product protection. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 169–182. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56125-6_8.

Commission Regulation, 1991. Commission Regulation (EEC) No. 2568/91 of July 11th 1991 on the characteristics of olive oil and olive-residue oil and on the relevant methods of analysis.

- Conte, L., Milani, A., Calligaris, S., Rovellini, P., Lucci, P., Nicoli, MC., 2020.** Temperature dependence of oxidation kinetics of extra virgin olive oil (EVOO) and shelf-life prediction. *Foods*. 9 (3), 295.
- Correa, A., Vinson, C., Braga, L., Guedes, R., de Oliveira, L., 2017.** Ancient origin and recent range expansion of the maize weevil *Sitophilus zeamais*, and its genealogical relationship to the rice weevil *S. oryzae*. *Bull. Entomol. Res.* 107, 9–20.
- Correa, AS., Pereira, EJG., Cordeiro, EMG., Braga, LS., Guedes, RNC., 2011.** Insecticide resistance, mixture potentiation and fitness in populations of the maize weevil (*Sitophilus zeamais*). *Crop Prot.* 30, 1655–1666.
- Cui, S., Wang, L., Qiu, J., Liu, Z., Geng, X., 2017.** Comparative metabolomics analysis of *Callosobruchus chinensis* larvae under hypoxia, hypoxia/hypercapnia and normoxia. *Pest Manag. Sci.* 73, 1267-1276.
- Daglish, GJ., Nayak, MK., Arthur, FH., Athanassiou, CG., 2018.** Insect pest management in stored grain. In: Athanassiou, CG., Arthur, FH. (Eds.), *Recent Advances in Stored Product Protection*. Springer-Verlag GmbH Germany, pp. 45-64.
- Daglish, GJ., Ridley, A W., Reid, R., Walter, GH. 2016.** Testing the consistency of spatio temporal patterns of flight activity in the stored grain beetles *Tribolium castaneum* (Herbst) and *Rhyzopertha dominica* (F.). *J. Stored Prod. Res.* 72, 68-74.
- Dagnelie, P., 2012.** Principes D'expérimentation, Planification des Expériences et Analyses de leurs Résultats. 2d Edition. Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique. 413 pp.
- Dais, P., Hatzakis, E., 2013.** Quality assessment and authentication of virgin olive oil by NMR spectroscopy: A critical review. *Anal. Chim. Acta.* 765, 1–27.
- Davis, SR. 2018.** Developmental Genetics in a Complex Adaptive Structure, the Weevil Rostrum. *bioRxiv*.
- Del Buono, D., Said-Pullicino, D., Proietti, P., Nasini, L., Gigliotti, G., 2011.** Utilization of olive husks as plant growing substrates: phytotoxicity and plant biochemical responses. *Compost Sci. Util.* 19, 52–60.
- Del Mar Contreras, M., Lama-Muñoz, A., Manuel Gutiérrez-Pérez, J., Espínola, F., Moya, M., Castro, E., 2019.** Protein extraction from agri-food residues for integration in biorefinery: Potential techniques and current status. *Bioresour. Technol.* 280, 459–477.
- Delobel, A., Tran, M., 1993.** Les coléoptères des denrées alimentaires entreposées dans les régions chaudes. *Faune Tropicale XXXII*. ORSTOM/ CTA Eds, Paris, 424 p.

- Demissie, G., Swaminathan, R., Ameta, O.P., Jain, HK., Saharan, V., 2015.** Biochemical basis of resistance in different varieties of maize for their relative susceptibility to *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Lepidoptera: Gelechiidae). J. Stored Prod. Postharvest Res. 6 (1), 1-12.
- Demissie, G., Teshome, A., Abakemal, D., Tadesse, A., 2008.** Cooking oils and “Triplex” in the control of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) in farm-stored maize. J. Stored Prod. Res. 44(2), 173-178.
- Derbalah, AS, Hanza, AM, Gazzy, AA. 2012.** Efficacy and safety of some plant extracts as alternatives for *Sitophilus oryzae* control in rice grains. J. Entomol. 9(2), 57-67.
- Dermeche, S., Nadour, M., Larroche, C., Mouliti-Mati, F., Michaud, P., 2013.** Olive mill wastes: biochemical characterisations and valorisation strategies. Process Biochem. 48, 1532–1552.
- Devi, SR., Thomas, A., Rebijith, KB., Ramamurthy, VV., 2017.** Biology, morphology and molecular characterization of *Sitophilus oryzae* and *S. zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), J. Stored Prod. Res. 73, 135-141.
- Dey, D., Sarup, P., 1993.** Feasibility of protecting maize varieties with oils to save losses in storage due to *Sitophilus oryzae* (Linn.). J. Entomol. Res. 17, 1–15.
- Di Serio, MG., Giansante, L., Di Loreto, G., Di Giacinto, L., 2018.** Shelf life of extra virgin olive oils: first efforts toward a prediction model. J Food Process Pres. 42(7), e13663.
- Divya, P., Kanaka Durga, K., Sunil, N., Rajasri, M., Keshavulu, K., Udayababu, P., 2016.** Modified atmosphere storage technique for the management of pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* in Horse gram. Legum. Res. 39(3), 474-478.
- Dobie, P., 1974.** The laboratory assessment of the inherent susceptibility of maize varieties to post harvest infestation by *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidea) infesting field corn. J. Entomol. Sci. 21, 367-375.
- Dobie, P., Haines, CP., Hodges, RJ., Prevett, PF., Rees, DP. (Eds.), 1991.** Insects and Arachnids of tropical stored products, their biology and identification (A Training Manual). Natural Resources Institute, Chatham, Kent, United Kingdom, 246 pp.
- Domínguez- Arrizabalaga, M., Villanueva, M., Escriche, B., Ancín-Azpilicueta, C., Caballero, P., 2020.** Insecticidal activity of *Bacillus Thuringiensis* proteins against coleopteran pests. Toxins. 12, 430 -436.
- Donahaye, EJ. 2000.** Current status of non-residual control methods against stored product pests. Crop Prot. 19, 571- 576.

- Don-Pedro, KN., 1989.** Mechanism of action of some vegetable oils against *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on wheat. J. Stored Prod. Res. 25, 217–223.
- Doumbia, M., Douan, BG., Kwadjo, KE., Kra, D.K., Martel, V., Dagnogo, M. 2014.** Effectiveness of diatomaceous earth for control of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae), *Tribolium castaneum* and *Polarus subdepressus* (Coleoptera: Tenebrionidae). J. Stored Prod. Res. 57, 1–5. .
- Douzane, M., Tamendjari, A., Abdi, AK., Daas, M-S., Mehdid, F., Bellal, MM., 2013.** Phenolic compounds in mono-cultivar extra virgin olive oils from Algeria. Grasas y Aceites, 64, 285-294.
- Ebadollahi, A., Jalali Sendi, J., 2015.** A review on recent research results on bio-effects of plant essential oils against major Coleopteran insect pests. Toxin Rev. 34, 76–91.
- Edde, PA., 2012.** A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. J. Stored Prod. Res. 48, 1–18.
- Edde, PA., Phillips, TW., 2006.** Longevity and pheromone output in stored-product Bostrichidae. Bull. Entomol. Res. 96, 547-554.
- EEC., 2001.** No. 1513/2001 of 23 July 2001 amending Regulations No. 136/66/EEC and EC No. 1638/98 as regards the extension of the period of validity of the aid scheme and the quality strategy for olive oil. Official Journal of the European Communities. L 201: 4–7.
- Eissa, FI., Zidan, NEHA., Hashem, MY., Ahmed, SS., 2014.** Insecticidal efficacy of certain bio-insecticides, diatomaceous earth and modified atmospheres against *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) on stored wheat. J. Stored Prod. Res. 57, 30-35.
- Ekoja, EE., Ogah, BE., 2020.** Efficacy of oils from nine plant species as protectants against infestation by *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Chrysomelidae). World J Adv Res Rev. 7 (3), 7–15. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2020.7.3.0323>.
- Ekoja, EE., Onekutu, A., Ode, HS., 2020.** Control of *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) using triglycerides from animal sources, Arch Phytopath Plant Protect.ens. DOI: 10.1080/03235408.2020.1843324.
- Eliopoulos, PA., Athanassiou, CG., Buchelos, CTh., Adler, C., Navarro, S., Schöller, M., Stengard-Hansen, L., 2002.** Occurrence of hymenopterous parasitoids of stored product pests in Greece. Bulletin OILB/SROP 25, 127e139.
- El-Qarnifa, S., El-Antari, A., Hafidi, A., 2019.** Effect of maturity and environmental conditions on chemical composition of olive oils of introduced cultivars in Morocco. J. Food Qual. 1854539.

- Enu, R, Enu P., 2014.** Sterilization of grains using ionizing radiation: the case in Ghana. Eur. Sci. J.1. 10(6), 117-136.
- EPPO, 2017.** EPPO Global Database (available online). <https://gd.eppo.int>.
- Ertürk, S., Atay, T., Toprak, U., Alkan, M., 2020.** The efficacy of different surface applications of wettable powder formulation of Detech® diatomaceous earth against the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae J. Stored Prod. Res, 89, 101725.
- Esposito, S., Taticchi, A., Urbani, S., Selvaggini, R., Veneziani, G., Di Maio, I., B, Sordini., M, Servili., 2017.** Effect of light exposure on the quality of extra virgin olive oils according to their chemical composition. Food Chem. 229, 726–733.
- Essiari, M., Zouhair, R., Chimi, H., 2014.** Contribution to the study of the typical characteristics of the virgin olive oils produced in the region of Sais (Morocco), *OLIVÆ*. 119, 8-21.
- Fadda, C., Del Caro, A., Sanguinetti, AM., Urgeghe, PP., Vacca, V., Arca, PP., Piga, A., 2012.** Changes during storage of quality parameters and in vitro antioxidant activity of extra virgin monovarietal oils obtained with two extraction technologies. Food Chem. 134, 1542–1548.
- Faliagka, S., Agrafioti, P., Lampiri, E., Katsoulas, N., Athanassiou, CG., 2020.** Assessment of different inert dust formulations for the control of *Sitophilus oryzae*, *Tribolium confusum* and *Aphis fabae*. Crop Prot. 137, 105312.
- FAO, 2015.** The State of Food Insecurity in the World, pp. 1-56. www.fao.org.
- FAO, 2018.** FAO Cereal Supply and Demand Brief | World Food Situation | Food and Agriculture Organization of the United Nations, <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>, (11/7/2018).
- FAO, 2019.** Base de données FAOSTAT. Rome, Italie : FAO. Consulté sur <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>.
- FAOSTAT, 2017.** Agricol statistics, Olives. Available from <http://www.fao.org/faostat/fr/#data>. (accessed 08-05-2021).
- Farghal, AI., Mohamed, SH. Eraky, SA. Omar, YM. Haridy, WA. 2020.** Influence of temperature and microwave radiation on the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). Int. J. Agric. Sci.. 2 (1), 62-70.
- Farkas, J., Farkas, CM., 2011.** History and future of food irradiation, Trends Food Sci Tech. Vol. 22, N° 2-3, pp.121-126.

- Fei, P., Ali, MA., Gong, S., Sun, Q., Bi, X., Liu, S., Guo, L., 2018.** Antimicrobial activity and mechanism of action of olive oil polyphenols extract against *Cronobacter sakazakii*. Food Control. 94, 289–294. doi: 10.1016/j.foodcont.2018. 07.022.
- Fekadu, G., Waktole, S., Santiago, DR., 2012.** Evaluation of plant powders and cooking oils against maize weevil, *Sitophilus zeamais* M. (Coleoptera: Curculionidae) under laboratory conditions. Mol. Entomol. 3, 4-14.
- Flay, CD., He, XZ., Wang, Q., 2010.** Influence of multiple mating on female reproductive fitness in the rice weevil, *Sitophilus oryzae*. New Z Plant Prot. 63, 201-207.
- Ferhat, R., Lekbir, A., Ouadah, H., Kahoul, MA., Khalfa, L., Larouni, S., Alloui-Lombarkia, O., 2017.** Effect of extraction solvent on total phenolic content, total flavonoid content, and antioxidant activities of Algerian pomace olive oil. Ifrj. 24(6), 2295–303.
- Fernando, HSD., Karunaratne, MMS., 2013.** Mella (*Olex zeylanica*) leaves as an ecofriendly repellent for storage insect pest management. J. Trop. For. Environ. 3, 64-69.
- Fields, PG., 1992.** The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. J. Stored Prod. Res. 28, 89–118.
- Finney, DJ. 1971.** Probit Analysis. 3rd edition. Cambridge University Press, London, U.K. 333 pp.
- Flinn, PW., Hagstrum, DW. 2002.** Temperature-mediated functional response of *Theocolax elegans* (Hymenoptera: Pteromalidae) parasitizing *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat. J. Stored. Prod. Res. 38, 185–190.
- Flinn, PW., Scholler, M., 2012.** Biological control: insect pathogens, parasitoid and predators, p. 203-212. In D. W. Hagstrum, T. W. Phillips, and G. Cuperus (ed.), Stored product protection. Kansas State University, Manhattan.
- Floyd, EH., Newsom, LD., 1959.** Biological studies of the rice weevil complex. Ann. Entomol. Soc. Am. 52, 687-695.
- Fogang, HPD., Womeni, HM., Piombo, G., Barouh, N., Tapondjou, LA., 2012.** Bioefficacy of essential and vegetable oils of *Zanthoxylum xanthoxyloides* seeds against *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). J. Food Prot. 75, 547–555.
- Foscolou, A., Critselis, E., Panagiotakos, D., 2018.** Olive oil consumption and human health: A narrative review. *Maturitas*. 118, 60–66.
- Gad, HA., Al-Anany, MS., Abdelgaleil, SAM., 2020.** Enhancement the efficacy of spinosad for the control *Sitophilus oryzae* by combined application with diatomaceous earth and *Trichoderma harzianum*. J. Stored Prod. Res. 88, 101663.

García-Inza, GP., Hall, AJ., Rousseaux, MC., 2018. Proportion of oleic acid in olive oil as influenced by the dimensions of the daily temperature oscillation. *Sci Hort.* 227, 305–312.

García-Lara, S., Bergvinson, DJ., 2007. Programa integral para reducir pérdidas poscosecha en maíz. *Agricultura Técnica en México.* 33, 181-189.

García-Lara, S., Bergvinson, DJ., 2014. Phytochemical and Nutraceutical Changes During Recurrent Selection for Storage Pest Resistance in Tropical Maize. *Crop Sci.* 54 (6), 2423–2432.

García-lara, S., García-jaimés, E., Ortíz-Islas, S., 2020. Field effectiveness of improved hermetic storage technologies on maize grain quality in Central Mexico. *J. Stored Products Res.* 87 , 1–9, doi:10.1016/j.jspr.2020.101585.

Gargouri, B., Ammar, S., Zribi, A., Ben Mansour, A., Bouaziz, M., 2013. Effect of growing region on quality characteristics and phenolic compounds of Chemlali extra-virgin olive oils. *Acta Physiol. Plant.* 35, 2801–2812.

Gemechu, F., Santiago, DR., Sori , W., 2013. Laboratory evaluation of cotton (*Gossypium hirsutum*) and Ethiopian mustard (*Brassica carinata*) seed oils as grain protectants against maize weevil, *Sitophilus zeamais* M. (Coleoptera : Curculionidae). *African J. of Agric. Res.* 8 (32), 4374- 4379.

Gharbi, I., Issaoui, M., Mehri, S., Cheraief, I., Sifi, S., Hammami, M., 2015. Agronomic and technological factors affecting Tunisian olive oil quality. *Agric. Sci.* 6, 513-526.

Giacinto, S., Cristofaro, GA., Rotundo, G., 2008. Behavioral responses of adult *Sitophilus oryzae* (L.) to individual cereal volatiles. *J Chem Ecol.* 34, 523–529.

Gigliotti, G., Proietti, P., Said-Pullicino, D., Nasini, L., Pezzolla, D., Rosati, L., Porceddu, P.R., 2012. Co-composting of olive husks with high moisture contents: organic matter dynamics and compost quality. *INT BIODETER BIODEGR.* 67, 8–14.

Giuffrè, AM., 2018. The evolution of free acidity and oxidation related parameters in olive oil during olive ripening from cultivars grown in the region of Calabria, South Italy. *Emirates J. Food Agric.* 30, 539-548.

Giuffrè, AM., Capocasale, M., Macrì, R., Caracciolo, M., Zappia, C., Poiana, M., 2020. Volatile profiles of extra virgin olive oil, olive pomace oil, soybean oil and palm oil in different heating conditions. *LWT-Food Sci. Technol.* 117, 108631.

Golebiowska, Z., 1969. The feeding and fecundity of *Sitophilus granarius* (L.), *Sitophilus oryzae* (L.) and *Rhyzopertha dominica* (F.) in wheat grain. *J. Stored Prod. Res.* 5, 143-155.

- Golob, P., 1997.** Current status and future perspectives for inert dusts for control of stored product insects. *J. Stored Prod. Res.* 33, 69–79.
- Gomes, T., Caponio, F., 1997.** Evaluation of the state of oxidation of crude olive-pomace oils. Influence of olive-pomace drying and oil extraction with solvent. *J Agric Food Chem.* 45(4), 1381–1384.
- Gomes, T., Caponio, F., 1998.** Evaluation of the state of oxidation of olive-pomace oils: influence of the refining process. *J Agric Food Chem.* 46(3), 1137–1142.
- Gómez-Cruz, I., Cara, C., Romero, I., Castro, E., Gullón, B., 2020 a.** Valorisation of exhausted olive pomace by an eco-friendly solvent extraction process of natural antioxidants. *Antioxidants.* 9 (10), 1010, doi:10.3390/antiox9101010.
- Gómez- de la Cruz, FJ., Palomar-Carnicero, JM., Hernández-Escobedo, Q., CruzPeragón, F., 2020 b.** Determination of the drying rate and effective diffusivity coefficients during convective drying of two-phase olive mill waste at rotary dryers drying conditions for their application. *Renew. Energy.* 153, 900– 910.
- González-Ruiz, CR., Del Toro-Sánchez, CL., Cornejo-Ramírez, YI., Rodríguez-Félix, F., Wong-Corral, FJ., Márquez-Ríos, E., Cárdenas-López, JL., Cinco-Moroyoqui, FJ., 2021.** Differential biochemical and kinetic properties of α -amylases from *Rhizopertha dominica* (F.) progenies reared on wheat varieties differing in α -amylase inhibitory activity. *J. Stored Prod. Res.* 90, 101748.
- Gooding, MJ, 2009.** The wheat crop. In: *Wheat chemistry and technology*, Khan K, Shewry PR, eds. St. Paul, MN: AACC International, 19-38.
- Gordh, G., Hartman, H., 1991.** Hymenopterous parasites of stored-food insect pests. In: Gorham, J.R. (Ed.), *Ecology and Management of Food-Industry Pests*. Food and Drug Administration Technical Bulletin. 4, 217–227.
- Gorham, JR., 1987.** *Insect and Mite Pests in Food: An Illustrated Key*. Agriculture Handbook Number 655. US Department of Agriculture.
- Gorzynik-Debicka, M., Przychodzen, P., Cappello, F., Kuban-Jankowska, A., Marino Gammazza, A., Knap, N., Wozniak, M., Gorska-Ponikowska, M., 2018.** Potential health benefits of olive oil and plant polyphenols, *Int. J. Mol. Sci.* 19(3), 686; <https://doi.org/10.3390/ijms19030686>
- Gourgouta, M., Rumbos, CI., Athanassiou, CG., 2019.** Residual toxicity of a commercial cypermethrin formulation on grains against four major storage beetles. *J. Stored Prod. Res.* 83, 103–109.

Gossen, BD., MC.Donald, MR. 2019. New technologies could enhance natural biological control and disease management and reduce reliance on synthetic pesticides. *Can. J. Plant Pathol.* 42, 30–40.

Grewal, PS., 2002. Formulation and application technology. In: Gaugler, R. (Ed.), *Entomopathogenic Nematology*. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 265–287.

Gudrups, I., Floyd, S., Kling, JG., Bosque-Perez, NA., Orchard, JE. 2001. A comparison of two methods of assessment of maize varietal resistance to the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, and the influence of kernel hardness and size on susceptibility. *J. Stored Prod. Res.* 37, 287- 302.

Guettal, S., Tine, S., Hamaidia, K., Tine-Djebbar, F., Soltani, N., 2020 a. Effect of *Citrus limonum* essential oil against granary weevil, *Sitophilus granarius* and its chemical composition, biological activities and energy reserves. *Int. J. Trop. Insect Sci.*, <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00353-y>.

Guettal, S., Tine, S., Tine-Djebbar, F., Soltani, N., 2020 b. Evaluation of *Citrus limonum*(Sapindales: Rutaceae) L. essential oil as protectant against the granary weevil, *Sitophilus granaries* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Allelopathy J.* 51(1):79-92. <https://doi.org/10.26651/allelo.j/2020-51-1-1292>.

Guèye, MT., Seck, D., Wathelet, JP., Lognay, G., 2011. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale: synthèse bibliographique. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 15(1), 183-194.

Guillen, MD., Sopelana, P., Palencia, G., 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons and olive pomace oil. *J. Agric. Food Chem.* 52, 2123–2132.

Guissois, M., Le Dréau, Y., Boulkhroune, H., Madani, T., Artaud, J. 2018. Chemometric characterization of eight monovarietal Algerian virgin olive oils. *JAOCS J. Am. Oil Chem. Soc.* 95, 267–281.

Gumaa, AGA., Elamin, AEH., 2015. Efficacy of groundnut oil, wood ash, sand and some plant powders against *Callosobruchus chinensis* in cowp cowpea seeds. *J. Agr. Sci. Technol.* B, 5, 647- 65.

Gupta, AK., Behal, SR., Awasthi, BK., Verma, RA., 1999. Screening of some maize genotypes against *Sitophilus oryzae*. *Indian J. Entomol.* 61, 265-268.

Haghtalab, N., Shayesteh, N., Aramideh, S., 2009. Insecticidal efficacy of castor and hazelnut oils in stored cowpea against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Sci. J. Biol. Sci.* 9, 175-179.

Hagstrum, DW., 2001. Immigration of insects into bins storing newly harvested wheat on 12 Kansas farms. *J. Stored Prod. Res.* 37, 221-229.

Hagstrum, DW., Athanassiou, CG., 2019. Improving stored product insect pest management: From theory to practice. *Insects.* 10, 332.

Hagstrum, DW., Phillips., TW. 2017. Evolution of stored product entomology: protecting the world food supply. *Ann. Rev. Entomol.* 62, 372–397.

Hagstrum, DW., Phillips, TW., Cuperus, GW. 2012. Stored product protection. Kansas State University, Manhattan, KS. KSRE Publ; S–156.

Harkness, C., Semenov, MA., Areal, F., Senapati, N., Trnka, M., Balek, J., Bishop, J. 2020. Adverse weather conditions for UK wheat production under climate change. *Agric. For. Meteorol.* 282-283, 107862. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107862>

Haines, CP., 1991. Insects and arachnids of tropical stored products: Their biology and identification, 2nd ed. Crown, Chatham, Kent, UK, 246 pp.

Halstead, DG., 1963. External sex differences in stored-products Coleoptera. *Bull. Entomol. Res.* 54, 119-134.

Hamdi, SH., Hedjal-Chebheb, M., Kellouche, A., Khouja, ML., Boudabous, A., Jemaa, JMB., 2015. Management of three pests' population strains from Tunisia and Algeria using Eucalyptus essential oils. *Ind Crops Prod.* 74, 551–556. doi:10.1016/j.indcrop.2015.05.072.

Hasan, M., Rusman, R., Khaldun, I., Ardana, L., Mudatsir, M., Fansuri, H., 2020. Active edible sugar palm starch-chitosan films carrying extra virgin olive oil: barrier, thermomechanical, antioxidant, and antimicrobial properties. *Int. J. Biol. Macromol.* 163, 766–775, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.076>.

Hassan, TA., 2001. Effect of three plant oils (Sesame, sunflower and castor) against stored grain insects (*Trogoderma granarium* and *Sitophilus granarius*). *UAJNAS.* 5 (1), 103-110.

Hassan, M.W., Jamil, M., Muzaffar, Z., Naz, S., Fakhar, F., 2017. Evaluation of different wheat byproducts and varieties for relative population growth and weight loss by *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera : Tenebrionidae) and *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera : Dermestidae). *J. Entomol. Zool. Stud.* 5, 804–809.

Hbaieb, RH., Kotti, F., Cortes-Francisco, N., Caixach, J., Gargouri, M., Vichi, S., 2016. Ripening and storage conditions of Chetoui and Arbequina olives: part II. Effect on olive endogenous enzymes and virgin olive oil secoiridoid profile determined by high resolution mass spectrometry. *Food Chem.* 210, 631–639.

- Hill, DS., 1990.** Pests of stored products and their control. Belhaven Press, London, UK. 855 pp.
- Hill, DS., 2002.** Pests of stored foodstuffs and their control. New York: Kluwer Academic Publishers, New York.
- Hill, JM., Schoonhoven, AV., 1981.** The use of vegetable oils in controlling insect infestations in stored grains and pulses. Recent Adv. Food Sci. Technol. 1, 473–481.
- Hossain, MA., Alim, MA., Ahmed, KS. Haque, MA., 2014.** Insecticidal potentials of plant oils against *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera : Bruchidae) in stored chickpea. JESI. 34(3), 47-56.
- Hou, L., Liu, Q., Wang, S., 2019.** Efficiency of industrial-scale radio frequency treatments to control *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) in rough, brown, and milled rice. Biosyst. Eng. 186, 246–258. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.08.009>.
- Houshia, OJ., Abu Eid, M., Zaid, O., Shqair, H., Zaid, M., Nashariti, W., Noor, B., Al-Rimwai, F., 2019.** Alteration of Nabali Baladi extra virgin olive oil (EVOO) chemical parameters as a function of air and sunlight exposure. OCL. 26, 38, 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1051/ocl/2019036>.
- Howe, RW., 1950.** The development of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) under constant temperature. Entomol.'s Mon. Mag. 86, 1-5.
- Hu, N., Li, W., Du, C., Zhang, Z., Gao, Y., Sun, Z., Yang, L., Yu, K., Zhang, Y., Wang, Z., 2021.** Predicting micronutrients of wheat using hyperspectral imaging. Food Chem. 343, 128473.
- Huchet, JB., 2017.** Le Coléoptère, la Graine et l'Archéologue : Approche archéoentomologie des principaux ravageurs des denrées stockées. Plantes, produits végétaux et ravageurs Actes des X^e Rencontre d'Archéobotanique, les Eyzies de Tayac, 24-27 september 2014, pp. 17-42.
- Hwaidi, MI., Collins, PJ., Sissons, M., 2017.** Does sorption of sulfuryl fluoride by wheat reduce its efficacy against adults and eggs of *Rhyzopertha dominica*? J. Stored Prod. Res. 74, 91-97.
- Ibrahim, MY., 2012.** Efficacy of some plant oils against stored-product pest cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) on chickpea seeds. *Persian Gulf crop protect.* 1(1), 4-11.
- IOC., 2011.** Guide for the determination of the characteristics of oil-olives. COI/OH/Doc. No: 1. COI/OH/ Doc. n°1, November 2011. IOC, Madrid, Spain. 34 pp.

IOC., 2018. COI/T.15/NC No 3/Rev. 12. Trad standaed applying to olive oils and olive pomace oils.

Isman, MB., 2019. Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. *Phytochem. Rev.* 1–7.

Isman, MB., 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world. *Annu. Rev. Entomol.* 51, 45–66.

Isman, MB., Grieneisen, ML., 2014. Botanical insecticide research: many publications, limited useful data. *Trends Plant Sci.* 19, 140–145.

Iturralde-García, RD., Wong-Corral, FJ., Castañé, C., Riudavets, J. (2020). Susceptibility of *Rhyzopertha dominica* to high CO₂ modified atmospheres in packaged chickpeas. *J. Stored Prod. Res.* 85, 101537.

Ivbijaro, MF., Ligan, C. Youdeowei, A., 1985. Control of rice weevils, *Sitophilus oryzae* (L.) in stored maize with vegetable oils. *Agric Ecosyst Environ.* 14, 237–242.

Jadhav, K., 2006. Biology and management of Rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) in pop sorghum. M. Sc. (Agri.) Thesis, Univ. Agric. Sci., Dharwad.

Jeanet, R., Croguennec, T., Schuck, P., Brule, G., 2007. Science des aliments technologie des produits alimentaires. 2^{ème} Édition, Lavoisier, Paris, pp.143- 456.

Jia, F., Toews, MD., Campbell, JF., Ramaswamy, SB., 2008. Survival and reproduction of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) on flora associated with native habitats in Kansas. *J. Stored Prod. Res.* 44, 366-372.

Jilu, VS., Borad, PK., Patel, RD., 2018. Evaluation of vegetable oils as grain protectants against *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) on maize under storage condition. *J Entomol Zool Stud.* 6(3), 821-824.

Jood, S., Kapoor AC., Singh, R., 1996a. Effect of insect infestation and storage on lipids of cereal grains. *J. Agric. Food Chem.* 44, 1502-1506.

Jood, S., Kapoor, AC., Singh, R., 1996b. Chemical composition of cereal grains as affected by storage and insect infestation. *Trop. Agric.* 73, 161-164.

Julio, AHF., Gigliolli, AAS., Cardoso, KAK., Drosdoski, SD., Kulza, RA., Seixas, FAV., Ruvolo-Takasusuki, MCC., de Souza, CGM., Lapenta, AS., 2017. Multiple resistance to pirimiphos-methyl and bifenthrin in *Tribolium castaneum* involves the activity of lipases, esterases, and laccase2. *Comp. Biochem. Physiology Part C Toxicol. Pharmacol.* 195, 27-43.

Kadi, H., Fellag, H., 2001. Modeling of oil extraction from olive foot cake using hexane. *Grasas Aceites.* 52, 369–372.

Kadi, H., Moussaoui, R., Djadoun, S., Sharrock, P., 2016. Microwave Assisted Extraction of olive oil pomace by acidic hexane. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* 35, 73–79.

Kaelin, P., Zaugg, L., Albertini, AM., Gadani, F., 1999. Activity of *Bacillus thuringiensis* isolates on *Lasioderma serricorne* (F) (Coleoptera: Anobiidae). *J. Stored Prod. Res.* 35, 145–158.

Kalogeropoulos, N., Kaliora, AC., Artemiou, A., Giogios, I., 2014. Composition, volatile profiles and functional properties of virgin olive oils produced by two-phase vs three-phase centrifugal decanters. *LWT - FOOD SCI TECHNOL.* 58, 272–279.

Kalsa, KK., Subramanyam, B., Demissie, G., Mahroof, R., Worku, A., Gab-biye, N., Workneh, S., Abay, F., 2019. Susceptibility of Ethiopian wheat varieties to granary weevil and rice weevil infestation at optimal and suboptimal temperatures. *J. Stored Prod. Res.* 83, 267–274.

Karabagias, IK., Badeka, A., Casiello, G., Longobardi, F., Kontominas, MG., 2019. Rapid screening of olive oil cultivar differentiation based on selected physicochemical parameters, pigment content and fatty acid composition using advanced chemometrics. *Eur. Food Res. Technol.* 245, 2027-2038.

Kaur, R., Nayak, MK., 2015. Developing effective fumigation protocols to manage strongly phosphine-resistant *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae). *Pest. Manag. Sci.* 71, 1297–1302.

Kavallieratos, NG., Athanassiou, CG., Arthur, H., 2015. Efficacy of deltamethrin against stored-product beetles at short exposure intervals or on a partially treated rice mass. *J. Econ. Entomol.* 108, 1416–1421.

Kavallieratos, NG., Boukouvala, MC., 2018. Efficacy of four insecticides on different types of storage bags for the management of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae) adults and larvae. *J. Stored Prod. Res.* 78, 50-58.

Kellogg, EA., 2001. Evolutionary history of the grasses. *Plant Physiol.* 125, 1198–1205. doi: 10.1104/pp.125.3.1198.

Kellouche, A., Soltani, N., 2004. Activité biologique de cinq plantes et de l'huile essentielle de l'une d'entre elles sur *Callosobruchus maculatus* (F.). *Int. J. Trop. Insect Sci.* 24, 184–191.

Kellouche, A., Soltani, N., Kreiter, S., Auger, J., Arnold, I., Kreiter, P., 2004. Biological activity of four vegetable oils on *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae). *Redia.* LXXXVII, 39-47.

Keskin, S., Ozkaya, H., 2015. Effect of storage and insect infestation on the technological properties of wheat. *CyTA-J Food*. 13, 134–139.

Keskin, H., Koçak Yanık, D., Mucuk, HN., Göğüş, F., Fadiloğlu, S. 2016. Valorization of olive pomace oil with enzymatic synthesis of 2-Monoacylglycerol. *J. Food Sci.* 81(4), C841-C848.

Keskin, Ş., Yalçın, E., Özkaya, H., 2018. Effects of storage and granary weevil infestation on gel electrophoresis and protein solubility properties of hard and soft wheat flours. *J. Econ. Entomol.* 111, 1454-1460.

Ketker, CM., 1989. Use of tree-derived non-edible oils as surface protectants for stored legumes against *Callosobruchus maculatus* and *C. chinensis*. In Schmutterer H. and K.R.S. Ascher (Eds.) *Natural Pesticides from the Neem Tree and Other Tropical Plants*. Proceedings of the 3rd International Neem Conference, pp, 535-542.

Khaire, VM., Kachare, BV., Mote, UN., 1992. Efficacy of different vegetable oils as grains protectants against pulse beetle *Callosobruchus chinensis* L. in increasing the storability of pigeonpea. *J. Stored Prod. Res.* 28, 153-156.

Khalequzzaman, M., Mahdi, SHA., Goni, OSHM., 2007. Efficacy of edible oils in the control of pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* L. in stored pigeonpea. *Rajshahi Univ. J. Sci.*. 26, 89–92.

Khalique, F., Ahmed, K., Afzal, M., Malik, BA., Riaz, M., 1988. Protection on stored chickpea, *Cicer arietinum* L. from attack of *Callosobruchus chinensis* L. (Coleoptera: Bruchidae). *Trop. Pest Manag.* 34, 333-334.

Khare, BP., Johari, RK., 1984. Influence of phenotypic characters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars on their susceptibility to *Callosobruchus chinensis* (L.). *Legum. Res.* 7, 54-56.

Khare, DP., 2015. *Stored grain pests and their management*. Kalyani Publishers, New Delhi, p. 314.

Kheloul, L., Anton, S., Gadenne, C., Kellouche, A., 2020. Fumigant toxicity of *Lavandula spica* essential oil and linalool on different life stages of *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Asia Pac. Entomol.* 23, 320–326.

Kher, RH. 2006. Evaluation of vegetable oil and insecticides as grain protectants and varieties for susceptibility against *Rhyzopertha dominica* (F.) infesting wheat under storage condition. Ph. D. Thesis, Department of Entomology, B. A. College of Agriculture Anand Agricultural University, Anand, Gujarat (India). 192 pp.

Khinch, K., Sharma, MM., Khinch, MK., Naga, R. P., Acharya, D., Asiwal, RC., 2017. Studies on efficacy of certain plant part powders against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* Linn. on chickpea, *Cicer arietinum* (L). J Entomol Zool Stud. 5(3), 575-578.

Khinch, SK., Sharma, MM., Khinch, MK., Bairwa, DK., Acharya, D., Naga, BL ., Naga, RP., 2017. Studies on efficacy of certain vegetable oils against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* Linn. on chickpea, *Cicer arietinum* (L.). Int. J. Chem. Stud. 5(3), 255-259.

Kim, KH., Kabir, E., Jahan, SA., 2017. Exposure to pesticides and the associated human health effects. Sci. Total Environ. 575, 525–535.

Kiritsakis, A., Shahidi, F., 2017. Olive oil quality and its relation to functional bioactives and their properties. In: Kiritsakis, A.P., and Shahidi, F. (Ed.). Olives and Olive oil as Functional Foods: Bioactivity, Chemistry and Processing. Wiley, Co, pp. 205–219.

Kirouani, A., Kiar, RO., Boukhalfoun, L., Fellahi, ZEA., 2019. Caractérisation de quelques variétés Algériennes de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) par le biais des marqueurs phénotypiques. J Appl Bioscie. 142 (1), 14464-14477.

Kiszonas, AM., Morris, CF., 2017. Wheat Breeding for Quality: A Historical Review. Cereal Chem. J. 95, 17–34.

Klassen, W., Curtis, CF., 2005. History of the sterile insect technique. In Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management, ed. VA Dyck, J Hendrichs, AS Robinson, pp. 3–36. Dordrecht, Netherlands: Springer-Verlag. 787 pp.

Klen, TJ., Vodopivec, BM., 2012. The fate of olive fruit phenols during commercial olive oil processing: traditional press versus continuous two- and three-phase centrifuge. LWT - FOOD SCI TECHNOL. 49, 267–274.

Kljajic, P., Peric, I., 2006. Susceptibility to contact insecticides of granary weevil *Sitophilus granarius* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) originating from different locations in the former Yugoslavia. J. Stored Prod. Res. 42,149–161.

Kljajic, P., Peric, I., 2007. Effectiveness of wheat applied contact insecticides against *Sitophilus granarius* (L.) originating from different populations. J. Stored Prod. Res. 43, 523–529.

Kljajić, P., Perić, I., 2009. Residual effects of deltamethrin and malathion on different populations of *Sitophilus granarius* (L.) on treated wheat grains. J. Stored Prod. Res. 45, 45–48.

- Kłyś, G., Przystupińska, A., Izdebska, A., 2019.** The mortality of the lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (fabricius 1792) induced by plant powders. *Pol. J. Natur. Sc.* 34(3), 355–366.
- Kmieciak, S., Meziane, S., Kadi, H., Moussaoui, R., 1991.** Oil extraction from olive foot cake with acidic hexane. *Grasas y Aceites.* 42(1), 46-50.
- Koukouch, A., Idlimam, A., Asbik, M., Sarh, B., Izrar, B., Bostyn, S., Bah, A., Ansari, O., Zegaoui, OE., Amine, A., 2017.** Experimental determination of the effective moisture diffusivity and activation energy during convective solar drying of olive pomace waste. *Renew. Energy.* 101, 565–574.
- Kpatinvoh, B., Adjou, ES., Dahouenon-Ahoussi, E., Konfo, TRC., Atrevey, BC., Sohounhloue, D., 2016.** Problématique de la conservation du niébé (*Vigna unguiculata* (L), Walp) en Afrique de l'Ouest : étude d'impact et approche de solution. *Anim. Plant Sci.* 31(1), 4831-4842.
- Krzyżowski, M., Francikowski, J., Baran, B., Babczyńska, A., 2020.** The short-chain fatty acids as potential protective agents against *Callosobruchus maculatus* infestation. *J. Stored Prod. Res.* 86, 101570.
- Krzyżowski, M., Francikowski, J., Baran, B., Babczynska, A., 2019.** Physiological and behavioral effects of different concentrations of diatomaceous earth on common stored product pest *Callosobruchus maculatus*. *J. Stored Prod. Res.* 82, 110-115.
- Kucerová, Z., Stejskal, V., 2008.** Differences in egg morphology of the stored grain pests *Rhyzopertha dominica* and *Prostephanus truncatus* (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Stored Prod. Res.* 44, 103-105.
- Kumar, D., Kalita, P., 2017.** Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. *Foods.* 6, 8. doi:10.3390/foods6010008
- Kumar, R., 1991.** La lutte contre les insectes ravageurs: la situation de l'agriculture africaine. CTA/Karthala Eds. Wageningen, Paris, 310 pp.
- Kumar, R., Okonronkwo, NO., 1991.** Effectiveness of plant oils against some Bostrichidae infesting cereals in storage. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 12, 77-85.
- Kumawat, KC., Naga, BL. 2013.** Effect of plant oils on the infestation of *Rhyzopertha Dominica* (Fab.) in wheat, *Triticum Aestivum* Linn. *J. Plant Prot. Res.* 53(3), 301 – 304.
- Kuschel, G., 1961.** On problem of synonymy in the *Sitophilus oryzae* complex (30th contribution, Col. Curculionidae). *Ann. Mag. Nat. Hist.* 13 (4), 441- 444.
- Laincer, F., Iaccarino, N., Amato, J., Pagano, B., Pagano, A., Tenore, G., Tamendjari, A., Rovellini, P., Venturini, S., Bellan, G., Ritieni, A., Mannina, L., Novellino, E.,**

Randazzo, A., 2016. Characterization of monovarietal extra virgin olive oils from the province of Béjaïa (Algeria). *Food Res. Int.* 89, 1123–1133.

Lal, D., Raj, DV., 2012. Efficacy of application of four vegetable oils as grain protectant against the growth and development of *Callosobruchus maculatus* and on its damage. *Adv. Biores.* 3, 55-59.

Lale, NES., Kartay, MO., 2006. Role of physical characteristics of the seed in the resistance of local cultivars of maize to *Sitophilus zeamais* infestation in storage. *Trop. Sci. (London)*. 46, 1-3.

Lama-Muñoz, A., Rodríguez-Gutiérrez, G., Rubio-Senent, F., Gómez-Carretero, A., Fernández-Bolaños, J. 2011. A new hydrothermal treatment of alperujo enhances the content on bioactive minor components in crude pomace olive oil. *J. Agric. Food Chem.* 59, 1115-1123.

Lammi, S., Gastaldi, E., Gaubiac, F., Angellier-Coussy, H., 2019. How olive pomace can be valorized as fillers to tune the biodegradation of PHBV based composites. *Polym. Degrad. Stab.* 166, 325–333.

Lakhdari, H., Ayad, A., 2009. Les conséquences du changement climatique sur le développement de l'agriculture en Algérie: Quelles stratégies d'adaptation face à la rareté de l'eau?. In : 5^{ème} Colloque International: Énergie, Changements Climatiques et Développement Durable. 15–17. Hammamet, Tunisie.

Law-Ogbomo, KE., Egharevba, RKA., 2006. The use of vegetable oils in the control of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) in three cowpea varieties. *Asian J. Plant Sci.* 5, 547–552.

Lecato, GL., Collins, JM., 1976. *Xylocoris flavipes*: maximum kill of *Tribolium castaneum* and minimum kill required for survival of the predator. *Environ. Entomol.* 5, 1059-1061.

LeCato, GL., Flaherty, BR., 1974. Description of eggs of selected species of stored product insects (Coleoptera and Lepidoptera). *J. Kans. Entomol. Soc.* 47, 308-317.

Lemic, D., Mikac, KM., Genda M., Jukic Ž., Živkovic IP., 2020. Durum wheat cultivars express different level of resistance to granary weevil, *Sitophilus granarius* (Coleoptera; Curculionidae) Infestation. *Insects.* 11, 343.

Lepesme, P., 1944. Les Coleopteres des denrees alimentaires et des produits industriels entreposes. *Encyclopédie entomologique*. Paul Lechevalier Editeur, Paris, 335 pp.

Lev-Yadun, S., Gopher, A., Abbo, S., 2000. The cradle of agriculture. *Science.* 288,1602–1603.

- Levy-De la Torre, VA., Cinco-Moroyoqui, FJ., Lopez-Zavala, AA., Wong-Corral, FJ., Martínez-Cruz, O., 2019.** Mitochondrial response of the lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (F.) to modified atmospheres. J. Stored Prod. Res. 83, 338-346.
- Li, X., Zhu, H., Shoemaker, CF., Wang, SC., 2014.** The effect of different cold storage conditions on the compositions of extra virgin olive oil. J Am Oil Chem Soc. 91(9), 1559–1570.
- Lienard, V., Seck, D., Lognay, G., Gaspar, C., Severin, M., 1993.** Biological activity of *Cassia occidentalis* L. against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). J. Stored Prod. Res. 29, 311-318.
- Lienard, V., Seck, D., 1994.** Revue des methodes de lutte contre *Callosobruchus maculatus* (F.) (Col.: Bruchidae), ravageur des graines de niebe (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) en Afrique tropicale. Insect Sci Appl. 15, 301–311.
- Longstaff, BB., 1999.** An experimental and modeling study of the demographic performance of *Rhyzopertha dominica* (F.). I. development rate. J. Stored Prod. Res. 35, 89-98.
- Longstaff, BC., 1981.** Biology of the grain pest species of the genus *Sitophilus* (Coleoptera: Curculionidae): a critical review. Protect. Ecol. 2, 83–130.
- López-Castillo, LM., Silva-Fernández, SE., Winkler, R., Bergvinson, DJ., Arnason, JT., García-Lara, S., 2018.** Postharvest insect resistance in maize. J. Stored Prod. Res. 77, 66–76.
- Louadj, L., Giuffrè, AM., 2010.** Analytical characteristics of olive oil produced with three different processes in Algeria. Riv Ital Sostanze Gr. 87, 186–195.
- Lougraimzi, H., Iraqui, SEI, Bouaichi, A., Gouit, S., Achbani, EH., Fadli, M., 2018.** Insecticidal effect of essential oil and powder of *Mentha pulegium* L. Leaves against *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763) and *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: curculionidae, Tenebrionidae), the main pests of stored wheat. Polish J. Entomol. 87, 263–278. <https://doi.org/10.2478/pjen-2018-0018>.
- Lounaci, A., 2005.** Recherche sur la faunistique, l'écologie et la biogéographie des macro-invertébrés des cours d'eau de Kabylie (Tizi-Ouzou, Algérie). Thèse de Doctorat d'état en biologie, UMMTO. 209 pp.
- Lorini, I., Krzyzanowski, FC., França-Neto, J.B., Henning, AA., Henning, FA., 2015.** Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas. CEP, Embrapa Soja, Paraná, Brazil. 970 pp.

- Lucas, E., Riudavets, J., 2002.** Biological and mechanical control of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) in rice. *J Stored Prod. Res.* 38, 293-304.
- Lukic, I., Horvat, I., Godena, S., Krapac, M., Lukić, M., Vrhovsek, U., Brkić Bubola, K., 2018.** Towards understanding the varietal typicity of virgin olive oil by correlating sensory and compositional analysis data: A case study. *Food Res. Int.* 112, 78–89.
- Macedo, GA., Santana, ÁL., Crawford, LM., Wang, SC., Dias, FFG., de Moura Bell, JMLN., 2021.** Integrated microwave- and enzyme-assisted extraction of phenolic compounds from olive pomace. *LWT.* 138, 110621.
- Machekano, H., Mvumi, BM., Chinwada, P., Richardson-Kageler, S., Rwafa, R., 2019.** Evaluation of alternatives to synthetic pesticides under small-scale farmer managed grain storage conditions. *Crop Protect.* 126, 104941. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104941>.
- MacKey, J., 2005.** Wheat: its concept, evolution, and taxonomy. In: Royo C, Nachit MM, Di Fonzo N, Araus JL, Pfeiffer WH, Slafer GA (eds) *Durum wheat breeding: current approaches and future strategies*. Food products Press, New York, pp. 3–61.
- Mafrica, R., Piscopo, A., De Bruno, A., Poiana, M., 2021.** Effects of limate on fruit growth and development on olive oil quality in cultivar carolea. *Agriculture.* 11 (2), 147. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020147>.
- Mansouri, F., Ben Moumen, A., Belhaj, K., Richard, G., Fauconnier, M L., Sindic, M., Caid, HS., Elamrani, A., 2018.** Effect of crop season on the quality and composition of extra virgin olive oils from Greek and Spanish varieties grown in the Oriental region of Morocco. *Emirates J. Food Agric.* 30, 549-562.
- MARDF. 2017.** Agricultural statistics of the Ministry of Agriculture and Rural Development and Fisheries, Serie B (Crop production). Algiers, Algeria: Pub. MARDF.
- Marquez-Martin, A., De La Puerta-Vazquez, R., Fernandez-Aarche, A., Ruiz- Gutierrez, V., 2006a.** Supressive effect of maslinic acid from pomace olive oil on oxidative stress and cytokine production in stimulated murine macrophages. *Free Radic. Res.* 40, 295–302.
- Marquez-Martin, A., De La Puerta, R., Fernandez-Aarche, A., Ruiz-Gutierrez, V., Yaqoob, P., 2006b.** Modulation of cytokine secretion by pentacyclic triterpenes from olive pomace oil in human mononuclear cells. *Cytokine.* 36, 211–217.
- Marske, KA., Ivie, MA., 2003.** Beetle fauna of the United State and Canada. *Coleopt Bull.* 57, 495-503.

Mason, J., McDonough, M., 2012. Biology, behavior, and ecology of stored grain and legume insects. In: Hagstrum, DW., Phillips, TW., Cuperus, G. (Eds.), *Stored Product Protection*. Kansas State University, Manhattan, KS, pp. 7-20.

Mateos, R., Sarria, B., Bravo, L., 2019. Nutritional and other health properties of olive pomace oil. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1–16. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1698005>.

Mcgaughey, WH., Speirs, RD., Martin, CR., 1990. Susceptibility of classes of wheat grown in the United States to stored-grain insects. *J. Econ. Entomol.* 83, 1122- 1127.

Mebarkia, A., Guechi, A., Mekhalif, S., Mekhalif, M., 2009. Biochemical composition effect of the some cereal species on the behavior of *Sitophilus granarius* L. and *Rhyzopertha dominica* F. species in semi-arid zone of Setif, Algeria. *J. Agron.* (2), 60-66.

Mebdoua, S., Ounane, G., 2019. Evaluation of pesticide residues in wheat grains and its products from Algeria. *Food Addit. Contam. B* 12, 289-295.

Medjkouh, L., Tamendjari, A., Keciri, S., Santos, J., Nunes, MA., Oliveira, MB. 2016. The effect of the olive fruit fly (*Bactrocera oleae*) on quality parameters, and antioxidant and antibacterial activities of olive oil. *Food Funct.* 7(6), 2780–2788.

Mele, MA., Islam, M.Z., Kang, H., Giuffrè AM., 2018. Pre and post-harvest factors and their impact on oil composition and quality of olive fruit. *Emirates J. Food Agric.* 30, 592-603.

Mendil, M., 2009. L'oléiculture : expériences algériennes. In: *OLEOMED: 1st Mediterranean Forum of Olive Growing*, Algiers, Algeria, 29–30 March 2009.

Menon, A., Flinn, PW., Dover, BA., 2002. Influence of temperature on the functional response of *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae), a parasitoid of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *J. Stored Prod. Res.* 38, 463–469.

Meziane, S., 2013. Optimization of oil extraction from olive pomace using response surface methodology. *FSTI.* 19, 315-322.

Meziane, S., Kadi, H., 2008. Kinetics and thermodynamics of oil extraction from olive cake. *J Am Oil Chem Soc.* 85(4), 391–396.

Midega, CAO., Murage, AW., Pittchar, JO., Khan, ZR., 2016. Managing storage pests of maize Farmers' knowledge, perceptions and practices in western Kenya. *Crop Protect.* 90, 142–149.

Moirangthem, TT., Baik, OD., 2020. Disinfestation of stored grains using non-chemical technologies – A review. *Trends Food Sci Technol.* 107, 299-308.

- Mortazavi, H., Toprak, U., Emekci, M., Bagci, F., Ferizli, AG., 2020.** Persistence of diatomaceous earth, SilicoSec® against three stored grain beetles. J. Stored Prod. Res. 89, 101724.
- Moses, JP., Nattudurai, G., Baskar, K., Arokiyaraj, S., Jayakumar, M., 2020.** Efficacy of essential oil from *Clausena anisata* and its impact on biochemical changes of *Sitophilus oryzae*. Environ Sci Pollut Res. 27, 23215 -23221.
- Nana, P., Nchu, F., Bikomo, RM., Kutima, HL., 2014.** Efficacy of vegetable oils against dry bean beetles *Acanthoscelides obtectus*. Afr. crop sci. j. 22 (3), 175 – 180.
- Nanfack FM, Dongmo YZ, Fogang MAR. 2015.** Les insectes impliqués dans les pertes post-récoltes des céréales au Cameroun: méthodes actuelles de lutte et perspectives offertes par la transgénèse. IJBCS. 9(3), 1630-1643.
- Navarro, S., 2012.** The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products. J PEST SCI. 85, 301–322.
- Nave, M., Avni, R., Cakir, E., Portnoy, V., Sela, H., Pourkheirandish, M., Ozkan, H., Hale, I., Komatsuda, T., Dvorak, J., Distelfeld, A., 2019.** Wheat domestication in light of haplotype analyses of the Brittle rachis 1 genes (BTR1-A and BTR1-B). Plant Sci. 285, 193–199.
- Nawrot, J., Warchalewski, JR., Piasecka-Kwiatkowska, D., Niewiada, A., Gawlak, M., Grundas, ST., Fornal, J., 2006.** The effect of some biochemical and technological properties of wheat grain on granary weevil (*Sitophilus granarius* L.) development. In Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection, Campinas, São Paulo, Brazil, 15–18 October ; pp. 400–407.
- Nguyen, DT., Hodges, RJ., Belmain, SR., 2008.** Do walking *Rhyzopertha dominica* (F.) locate cereal hosts by chance?. J. Stored Prod. Res. 44, 90–99.
- Nia, B., Lekbir, A., salah, MKB. 2020.** Insecticidal and antioxidant activities of aqueous extracts of two algerian medicinal plants. Acta Entomol. Serbica. 25(1), 67-75.
- Nicolas, G., Sillans, D., 1989.** Immediate and latent effects of carbon dioxide on insects. Annu. Rev. Entomol., 34, 97–116.
- Nikpay, A., 2006.** Efficacy of chamomile, sweet almond and coconut oils as post-harvest grain protectants of stored wheat against *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). J Stored Prod Res. 9(4), 369–373.
- Norme Française homologue NFV 03.921 (1967).** Détermination de la teneur en eau.

Nunes, MA., Costa, AS., Bessada, S., Santos, J, Puga, H., Alves, RC., Freitas, V., Oliveira, MBP., 2018. Olive pomace as a valuable source of bioactive compounds: A study regarding its lipid- and water-soluble components. *Sci. Total Environ.* 644, 229–236.

Nunes, MA., Pimentel, FB., Costa, ASG., Alves, RC., Oliveira, MBPP., 2016. Olive byproducts for functional and food applications: challenging opportunities to face environmental constraints. *IFSET.* 35, 139–148.

Nunes, LJ., Loureiro, LM., Sá, LC., Silva, HF., 2020. Thermochemical conversion of olive oil industry waste: Circular Economy through Energy Recovery. *Recycling.* 5(2), 12.

Nwaubani, SI., Opit, GO., Otiodum, GO., Adesida, MA., 2014. Efficacy of two Nigeria-derived diatomaceous earths against *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) on wheat. *J. Stored Prod. Res.* 59, 9-16.

Obeng-Ofori, D., 1995. Plant oils as grain protectants against infestations of *Cryptolestes pusillus* and *Rhyzopertha dominica* in stored grain. *Entomol. Exp. Appl.* 77(2), 133-139.

Obeng-Ofori, D., 2011. Protecting grain from insect pest infestations in Africa: producer perceptions and practices. *Stewart Postharvest Rev.* 3, 1–11.

Obeng-Ofori, D., Amiteye, S., 2005. Efficacy of mixing vegetable oils mixed with pirimiphos-methyl against *Sitophilus zeamais* Motschulsky in stored maize. *J. Stored Prod. Res.* 41, 77- 88.

Obeng-Ofori, D., Reichmuth, CH., 1999. Plant oils as potentiation agents of monoterpenes for protection of stored grains against damage by stored product beetle pests. *Int. J. Pest Manag.* 45, 155–159.

Ocampo, AB., Braza, MKE., Nellas, RB., 2020. The interaction and mechanism of monoterpenes with tyramine receptor (SoTyr) of rice weevil (*Sitophilus oryzae*). *SN Appl. Sci.* 2, 1592.

Office National Météorologique de la willaya de Bouira (ONM)., 2019.

Office National Météorologique de la willaya de Tizi ousou (ONM)., 2019.

Okram, S., Hath, TK., 2019. Biology of *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) on stored rice grains during different seasons in Terai agro-ecology of West Bengal. *Int. j. curr. microbiol. appl. sci.* 8, 1955-1963.

Oloyede-Kamiyo, QO., Adetumbi, JA., 2017. Relationship between seed physical traits and maize weevil (*Sitophilus zeamais*) damage parameters in selected quality protein maize (QPM) varieties. *J. Stored Prod. Res.* 73, 42-46.

- Opit, GP., Phillips, TW., Aikins, MJ., Hasan, MM., 2012.** Phosphine resistance in *Tribolium castaneum* and *Rhyzopertha dominica* from stored wheat in Oklahoma. J. Econ. Entomol. 105, 1107–1114.
- Pacheco, IA., DE Castro, MFPPM., DE PAULA, DC., Lourenzao, AL., Bolonhezi, S. Barbieri, MK. 1995.** Efficacy of soybean and castor oils in control of *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus phaseoli* (Gyllenhal) in stored chickpeas (*Cicer arietinum* L.). J. Stored Prod. Res. 31, 221- 228.
- Paloukas, YZ., Agrafioti, P., Rumbos, CI., Schaffert, S., Sterz, T., Bozoglou, C., Athanassiou, CG. 2020.** Evaluation of Carifend® for the control of stored-product beetles. J. Stored Prod. Res. 85, 101534.
- Pandir, D., Guven, E., 2014.** Effect of microwave radiation on stored product pest *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae) larvae. Turk Entomol Derg. 38(2), 135-147.
- Pardo, JE., Tello, J., Suárez, M., Rabadán, A., De Miguel, C., Álvarez-Orti, M., 2020.** Variety characterization and influence of olive maturity in virgin olive oils from the area assigned to the protected designation of origin “Aceite de la Alcarria” (Spain). Agronomy. 10, 38.
- Park, SH., Arthur, FH., Bean, SR., Schober, TJ., 2008.** Impact of differing population levels of *Rhyzopertha dominica* (F.) on milling and physicochemical properties of sorghum kernel and flour. J. Stored Prod. Res. 44, 322-327.
- Parmar, VR., Patel, BH. 2015.** Evaluation of plant oils as grain protectants against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* on Mung Bean. Trends in Biosci. 8(15), 3855-3864.
- Parr, MJ., Tran, BMD., Simmonds, MSJ., Kite, GC., Credland, PF., 1998.** Influence of some fatty acids on oviposition by the bruchid beetle *Callosobruchus maculatus*. J. Chem. Ecol. 24, 1577–1593.
- Paudyal, S., Opit, GP., Arthur, F H., Bingham, GV., Gautam, SG., 2016.** Contact toxicity of deltamethrin against *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae), and *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) adults. J. Econ. Entomol. 109, 1936–1942.
- Perez-Camino, MC., Cert, A., 1999.** Quantitative determination of hydroxy pentacyclic triterpene acids in vegetable oils. J. Agric. Food Chem. 47,1558–1562
- Phillips, TW., Throne, JE., 2010.** Biorational approaches to managing stored-product insects. Annu. Rev. Entomol. 55, 375-397.

Philogène, BJR., Regnault-Roger, C. Vincent, C., 2008. Biopesticides d'origine végétale : bilan et perspectives. pp. 1-24 in : C. Regnault-Roger, B.J.R Philogène, & C. Vincent (eds.). Biopesticides d'origine végétale (2e éd). Lavoisier S.A.S, Paris.

Piesik, W., Wenda-Piesik, A., 2015. *Sitophilus granarius* responses to blends of five groups of cereal kernels and one group of plant volatiles. J Stored Prod Res. 63, 63–66.

Pimentel, D., McLaughlin, L., Zepp, A., Lakitan, B., Kraus, T., Kleinman, P., Vancini, F., Roach, W., Graap, E., Keeton, W., Selig, G., 1991. Environmental and economic effects of reducing pesticide use. BioScience. 41, 402–409.

Pimentel, MAG., Faroni, LRDA., Guedes, RNC., Sousa, AH., Totola, MR., 2009. Phosphine resistance in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). J. Stored Prod. Res. 45, 71-74.

Piscopo, A., De Bruno, A., Zappia, A., Ventre, C., Poiana, M., 2016. Characterization of monovarietal olive oils obtained from mills of Calabria region (Southern Italy). Food Chem, 213, 313-318.

Pomeranz, Y., 1988. Chemical composition of kernel structures. In: Pomeranz, Y. (Ed.), Wheat: Chemistry and Technology, vol. 4. AACC, St. Paul, MN, pp. 97–158.

Porceddu, E., Blanco, A., 2014. Evolution of durum wheat breeding in Italy. In Proceedings of the International Symposium on Genetics and Breeding of Durum Wheat; Porceddu, E., Qualset, C.O., Damania, A.B., Eds.; CIHEAM: Bari, Italy, Volume 110, pp. 157–173.

Potter, C., 1935. The biology and distribution of *Rhyzopertha dominica* (FAB.). Transactions of the Royal Entomological Society of London. 83, 449-482.

Preece, C., Livarda, A., Christin, P-A., Wallace, M., Martin, G., Charles, M., Osborne, C.P., 2017. How did the domestication of fertile crescent grain crops increase their yields?. Funct. Ecol., 31, 387–397. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12760>

Proietti, P., Federici, E., Fidati, L., Scargetta, S., Massaccesi, L., Nasini, L., Regni, L., Ricci, A., Cenci, G., Gigliotti, G., 2015. Effects of amendment with oil mill waste and its derived compost on soil chemical and microbiological characteristics and olive (*Olea europaea* L.) productivity. Agric. Ecosyst. Environ. 207, 51–60.

Rahman, A., Talukder, FA., 2006. Bioefficacy of some plant derivatives that protect grain against pulse beetle, *Callosobruchus maculatus*. J. Insect Sci. 6, 10-25.

Rahman, MA., Taleb, MA., Biswas, MM. 2003. Evaluation of botanical product as grain protectant against grain weevil, *Sitophilus granarius* (Linnaeus) on wheat. Asian J Pl Sci. 2 , 501-504.

- Rahman, MM., Islam, W., 2019.** Temperature and host dependent functional response of *Anisopteromalus Calandrae* (how.) and *Choetospila Elegans* (westw.) parasitods in parasitizing wheat infesting *Rhyzopertha dominica* (f.) (Coleoptera: Bostrichidae) Bangladesh J. Zool. 47(1), 41-47.
- Rahman, MM., Islam, W., Ahmed, KN., 2009.** Functional response of the predator *Xylocoris flavipes* to three stored product insect pests. Int. J. Agric. Biol. 11, 316–320.
- Rahman, MA., Taleb, MA., Biswas, MM., 2003.** Evaluation of botanical product as grain protectant against grain weevil, *Sitophilus granarius* (Linnaeus) on wheat. Asian J. Plant Sci. 2 (6), 501-504.
- Rajapakse, R., Van Emden, HF., 1997.** Potential of four vegetable oils and ten botanical powders for reducing infestation of cowpeas by *Callosobruchus maculatus*, *C. chinensis* and *C. rhodensianus*. J. Stored Prod. Res. 33 (1), 59–68.
- Rajendran, S., 2020.** Insect pest management in stored products. Outlooks Pest Manag, 31, 24–35.
- Rajendran, S., Narasimhan, KS., 1994.** Phosphine resistance in the cigarette beetle *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) and overcoming control failures during fumigation of stored tobacco. Int. J. Pest Manag. 40, 207-210.
- Ram, C., Singh, VS., 1996.** Resistance to *Sitophilus oryzae* in wheat and associated grain characteristics. Indian J. Entomol. 58, 79-90.
- Ramadan, GRM., Abdelgaleil, SAM., Shawir, MS., El-bakary, AS., Zhu, KY., Phillips, TW. 2020.** Terpenoids, DEET and short chain fatty acids as toxicants and repellents for *Rhyzopertha dominica* (coleoptera: Bostrichidae) and *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Ptinidae). J. Stored Prod. Res. 87, 101610.
- Ramzan, M., 1994.** Efficacy of edible oils against pulse beetle, *Callosobruchus maculatus*. J. Insect Sci. 7(1), 37-39.
- Ravindran, R., Jaiswal, AK., 2016.** Exploitation of food industry waste for high-value products. Trends Biotechnol. 34, 58–69.
- Rasheed, A., Xia, X., Ogbonnaya, F., Mahmood, T., Zhang, Z., Mujeeb-Kazi, A., He, Z., 2014.** Genome-wide association for grain morphology in synthetic hexaploid wheat using digital imaging analysis. BMC Plant Biol. 14 (1) , 128. DOI: 10.1186/1471-2229-14-128.
- Rayhan, MZ., Das, S., Sarkar, R., Adhikary, SK., Tania, SN., Islam, MM., Rabbani, MG., 2014.** Bioefficacy of neem, mahogoni and their mixture to protect seed damage and seed weight loss by rice weevil in storage. J. Biodivers. Environ. Sci. 5(1), 582-589.

- Reboredo-Rodríguez, P., González-Barreiro, C., Cancho-Grande, B., Simal-Gándara, J., 2014.** Quality of extra virgin olive oils produced in an emerging olive growing area in north-western Spain. *Food Chem.* 164, 418–426.
- Regnault-Roger, C., Philogene, JRB., Vincent, C., 2002.** Bio- pesticides d'origine végétale. 2 Ed. Tec et Doc Paris ; Lavoisier, 319 pp.
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., Arnason, JT., 2012.** Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Ann. Rev. Entomol.* 57, 405–424.
- Ribeiro, TB., Oliveira, A., Coelho, M., Veiga, M., Costa, E.M., Silva, S., Pintado, M., 2020.** Are olive pomace powders a safe source of bioactives and nutrients?. *J. Sci. Food Agric.* 101, 1963–1978.
- Righi, K., Assia Righi, F., Boubkeur, A., Boungab, K., Elouissi, A., Djendara, AC., 2018.** Toxicity and repellency of three Algerian medicinal plants against pests of stored product: *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae), *Banats J Biotechnol.*, IX(17), 50-59.
- Riudavets, J., Castane, C., Alomar, O., Pons, MJ., Gabarra, R., 2010.** The use of carbon dioxide at high pressure to control nine stored product pests. *J Stored Prod Res.* 46, 228–233.
- Rodrigues, N., Dias, LG., Veloso, AC., Pereira, JA., Peres, AM., 2016.** Monitoring olive oils quality and oxidative resistance during storage using an electronic tongue. *LWT – Food Sci Technol.* 73, 683–692.
- Rolania, K., Bhargava, MC., 2015.** Evaluation of different plant oils against *Lasioderma serricorne* Fab. on fennel. *J. Nat. Appl.* 7 (1), 83 – 87.
- Romano, D., Kavallieratos, NG., Athanassiou, CG., Canale, A., Stefanini, C., Benelli, G., 2016.** Impact of geographical origin and rearing medium on mating success and lateralization in the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: 501 Curculionidae). *J Stor Prod Res.* 69, 106-112.
- Romero, MP., Tovar, MJ., Ramo, T., Motilva, MJ., 2003.** Effect of crop Season on the composition of virgin olive oil with protected designation of origin “Les Garrigues” *J. Am. Oil Chem. Soc.* 80, 423–430.
- Rondanini, DP., Castro, DN., Searles, P., Rousseaux, MC. 2014.** Contrasting patterns of fatty acid composition and oil accumulation during fruit growth in several olive varieties and locations in a non-Mediterranean region. *Eur. J. Agron.* 52, 237–246.
- Rossetto, CJ., 1969.** O Complexo de *Sitophilus spp* (Coleoptera Curculionidae) no estado de Sao Paulo. *Bragantia.* 28, 127– 148.

- Rovellini, P., Cortesi, N., 2004.** Oxidative status of extra virgin olive oils: HPLC evaluation. *Ital. J. Food Sci.* 16, 335–344.
- Ruiz-Mendez, MV., Ramos-Hinojosa, AE. 2003.** Fatty acid esters with short-chain alcohols in two-phase olive pomace oils. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 105 (7), 346–350.
- Saad, ASA., Tayeb, EHM., El-Shazli, MM., Baheeg, SA., 2018.** Susceptibility of certain Egyptian and imported wheat cultivars to infestation by *Sitophilus oryzae* and *Rhyzopertha dominica*. *Arch Phytopath Plant Protect.* 51(1–2), 14–29.
<https://doi.org/10.1080/03235408.2018.1438779>.
- Sallam, MN., 1999.** Insect damage: damage on postharvest.- FAO, INPhO. [online] URL: <http://www.fao.org/inpho/inpho-post-harvest-compendium/it/>. Accessed 12 November, 2021.
- Salvador, M., Aranda, F., Fregapane, G., 2001.** Influence of fruit ripening on “Cornicabra” virgin olive oil quality. A study of four successive crop seasons. *Food Chem.* 73, 45–53.
- Salvador, MD., Aranda, F., Gomez-Alonso, S., Fregapane, G., 2003.** Influence of extraction system, production year and area on Cornicabra virgin olive oil: a study of five crop seasons. *Food Chem.* 80, 359–366.
- Sanchez-Gutierrez, CA., Ruiz-Mendez, MV., Jimenez Castellanos, MR., Lucero, MJ., 2017.** Influence of refining processes on content of bioactive compounds, rheology, and texture of olive pomace oil for use in topical formulations. *Eur. J. Lipid Sci.* 119 (9), 1600408. doi: 10.1002/ejlt.201600408.
- Sarker, AC., Islam, W., Parween, S., 2019.** Developmental parameters of *Xylochoris flavipes* (reuter) (Hemiptera: Anthocoridae) fed on life-stages of *Rhyzopertha dominica* (f.) J. *Bio-Sci.* 27, 11–21.
- Saroj, A., Oriyomi, OV., Nayak, AK., Haider, Z., 2020.** Phytochemicals of plant-derived essential oils: A novel green approach against pests. In *Natural Remedies for Pest, Disease and Weed Control*; Egbuna, C., Sawicka, B., Eds.; Academic Press: London, UK, pp. 65–79.
- Sattigi, HN., 1982.** Studies on the biology, chemical control of *Sitophilus oryzae* Linnaeus (Curculionidae : Coleoptera) and *Rhyzopertha dominica* Fab. (Bostrychidae: Coleoptera) and residue analysis of insecticides. M. Sc. (Agri.) Thesis, Univ. Agric. Sci., Dharwad.
- Savadi, S., Prasad, P., Kashyap, PL., Bhardwaj, SC., 2018.** Molecular breeding technologies and strategies for rust resistance in wheat (*Triticum aestivum*) for sustained food security. *Plant Pathol.* 67, 771–791. <https://doi.org/10.1111/ppa.12802>.
- Saxena, A., Singh, YP. 1994.** Effect of some plant products as protectants against *Rhyzopertha dominica* Fabricius on wheat grains. *Bull Grain Tech.* 32, 117–121.

Scholler, M., Flinn, P.W., 2000. Parasitoids and predators. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. (Eds.), *Alternatives to Pesticides in Stored-product IPM*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, pp. 229–271.

Scholler, M., Prozel, S., Suma, P., Russo, A., 2018. Biological control of stored product insects. In *Recent Advances in Stored Product Protection*; Athanassiou, C.G., Arthur, F.H., Eds. Springer: Berlin, Germany, pp. 183–209.

Schoonhoven, A.V., 1978. The use of vegetable oils to protect stored beans from bruchid attack. *J. Econ. Entomol.* 71, 254-256.

Seck, D., 1992. Importance économique et développement d'une approche de lutte intégrée contre les insectes ravageurs des stocks de maïs, mil et niébé en milieu paysan. *Proceeding 2ème séminaire sur la lutte intégrée contre les ennemis des cultures vivrières dans le Sahel, Bamako (Mali)*, 2-4 janvier, p 328-355.

Servili, M., Esposto, S., Taticchi, A., Urbani, S., Di Maio, I., Veneziani, G., Selvaggini, R., 2015. New approaches to virgin olive oil quality, technology, and by-products valorization. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 117(11), 1882–1892.

Shaaya, E., Kostjukovski, M., Eilberg, J. Sukprakaru, C., 1997. Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored product insects. *J. Stored Prod. Res.* 33, 7-15.

Sharifi, S., 1972. Radiographic studies of the parasite *Choetospila elegans* on the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 65, 852–856.

Shewry, P.R., Hey, S.J., 2015. The contribution of wheat to human diet and health. *Food Energy Secur.* 4, 178–202.

Siad, S.M., Gioia, A., Hoogenboom, G., Iacobellis, V., Novelli, A., Tarantino, E., Zdruli, P., 2017. Durum wheat cover analysis in the scope of policy and market price changes: A case study in Southern Italy. *Agriculture.* 7(2):12.

Sighamony, S., Anees, I., Chandrakala, T., Osmani, Z., 1986. Efficacy of certain indigenous plant products as grain protectants against *Sitophilus oryzae* (L.) and *Rhyzopertha dominica* (F.). *J. Stored Prod. Res.* 22, 21-23.

Singh, B.K.P., 2017. Study on the life cycle of *Sitophilus oryzae* on rice cultivar Pusa 2-21 in laboratory condition. *INJOEEAS*, 4(2), 37-42.

Singh, S., Sharma, D.K., Bhatia, S., Singh, A., 2017. Effect of various plant powders on rice weevil (*Sitophilus oryzae* Linn.) in stored wheat. *J. Environ. Biol.* 38, 501-508.

Singh, S., Sharma, D.K., Gill, R.S., 2016. Evaluation of three plant oils for the control of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) in stored wheat. *J. Insect Sci.* 29, 162-169.

Singh, YP., Mall, NP., 1991. Effect of various grain protectants on germination and damage of wheat grain by *Sitophilus oryzae* (Linnaeus). Bull Grain Tech. 29, 50-54.

Sitthichaiyakul S., Amornsak W., 2017. host-substrate preference of *Theocolax Elegans* (westwood) (Hymenoptera: Pteromalidae), a larval parasitoid of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* (MOTSCHULSKY) (Coleoptera: Curculionidae). Agric. Nat. Resour. 51(1), 36–39.

Slavin, JL., Martini, MC., Jacobs, DR., Marquart, L., 1999. Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. Am. J. Clin. Nutr. 70, 459 S–463S.

Solà. M., Riudavets, J., Castañé, C., 2020. Control of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus zeamais* in stored rice with different release rates of the larval parasitoid *Anisopteromalus calandrae*. Entomol Gen, in press Southgate BJ (1979) Biology of the Bruchidae. Annu Rev Entomol. 24, 449-473.

Soujanya, PL., Sekhar, JC, Kumar, P., Dharam, P., 2013. Physical and biochemical changes in stored maize due to infestation of *Sitophilus oryzae* L. Madras Agric. Journal. 187-189.

Spizzirri, UG., Carullo, G., Aiello, F., Paolino, D., Restuccia, D., 2020. Valorisation of olive oil pomace extracts for a functional pear beverage formulation. Int. J. Food Sci. Technol.doi:10.1111/ijfs.14591

Srivastava, C., Subramanian, S. 2016. Storage insect pests and their damage symptoms: an overview. Indian J Entomol. 78, 53–58.

Steidle, JLM., Schöller, M., 2002. Fecundity and ability of the parasitoid *Lariophagus distinguendus* (Hymenoptera: Pteromalidae) to find larvae of the granary weevil *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae) in bulk grain. J. Stored Prod. Res. 38, 43–53.

Subramanyam, Bh., Roesli, R., 2000. Inert dusts. In: Subramanyam, Bh., Hagstrum, D.W. (Eds.), Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 321–380.

Suleiman, R., Rosentrater, KA., Bern, CJ., 2015. Evaluation of maize weevils *Sitophilus zeamais* Motschulsky infestation on seven varieties of maize. J. Stored Prod. Res. 64, 97–102.

Surget, A., Barron, C., 2005. Histologie du grain de ble. Industrie des Cereales. 145, 3–7.

Swella, G. B., Mushobozy, D.M.K., 2007. Evaluation of the efficacy of protectants against cowpea bruchids (*Callosobruchus maculatus* (F.) on cowpea seeds (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Plant Protect. Sci. 43, 68–72.

Taghvaei, M., Jafari, SM., 2015. Application and stability of natural antioxidants in edible oils in order to substitute synthetic additives. J Food Sci Technol. 52(3), 1272–1282.

- Tefera, T., Kanampiu, F., De Groote, H., Hellin, J., Mugo, S., Kimenju, S., Beyene, Y., Boddupalli, PM., Shiferaw, B., Banziger, M., 2011.** The metal silo: an effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers' food security in developing countries. *J. Crop Prot.* 30, 240-245.
- Tembo, E., Murfitt, RFA. 1995.** Effect of combining vegetable oil with pirimiphos-methyl for protection of stored wheat against *Sitophilus granarius* (L.). *J. Stored Prod. Res.* 31(1), 77-81.
- Thakkar, B., Pandya, P., Parikh, P., 2020.** Isolation, establishment and characterization of new insect cell line derived from midgut of rice weevil, *Sitophilus oryzae*. *In Vitro Cell Dev Biol Anim.* 56, 832-836.
- Thakkar, B., Parikh, P., 2020.** Investigating the effects of host grains on the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.). *Adv Biol Res Vol. 2.* DOI: 10.9734/bpi/rrab/v2
- Thompson, V., 1966.** Biology of the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (F. Bulletin of Grain Technology. 4, 163-168.
- Throne, JE., Cline, LD., 1991.** Seasonal abundance of maize and rice weevils (Coleoptera: Curculionidae) in South Carolina. *J. Agric. Entomol.* 8, 93 -100.
- Throne, JE., Cline, LD., 1994.** Seasonal flight activity and seasonal abundance of selected stored-product Coleoptera around grain storages in South Carolina. *J. Agric. Entomol.* 11, 321-338.
- Tirichine, A., Madani, H., Benlamoudi, W., Attali, Y., Allam, A., 2015.** Evaluation agro-morphologique des cultivars locaux de blé dur *Triticum durum* Desf. cultivés dans les palmeraies de la vallée d'Oued Righ (Sud- Est algérien). *RBRS.* 2 (5), 67- 76.
- Titouh, K., Mazari, A., Aït Meziane, MZ., 2020.** Contribution to improvement of the traditional extraction of olive oil by pressure from whole and stoned olives by addition of a co-adjuvant (talc). *OCL.* 27, 23. doi:10.1051/ocl/2020017 .
- Toews, MD., Cuperus, GW., Phillips, TW., 2000.** Susceptibility of eight US wheat cultivars to infestation by *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Environ. Entomol.* 29, 250 -255.
- Togola, A., Seck, PA., Glitho, IA., Diagne, A., Adda, C., Toure, A., Nwilene, FE., 2013.** Economic losses from insect pest infestation on rice stored on-farm in Benin. *J. Appl. Sci.* 13, 278-285.
- Touchan, R., Kherchouche, D., Oudjehih, B., Touchan, H., Slimani, H., M.Meko, H.,**

2016. Dendroclimatology and wheat production in Algeria. *J. Arid Environ.* 124, 102–110.

Toudert-Taleb, K., Hedjal-Chebheb, M., Hami, H., Debras, JF., Kellouche, A., 2014. Composition of essential oils extracted from six aromatic plants of Kabylia origin (Algeria) and evaluation of their bioactivity on *Callosobruchus maculatus* (Fabricius 1775) (Coleoptera: Bruchidae). *Afr Entomol.* 22, 417–427.

Tripathi, K., Chauhan, SK., Gore, PG., Mehta, PS., Bisht, IS., Bhalla, S., 2017. Evaluation of wheat landraces of north-western Himalaya against rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. vis-à-vis physical seed parameters. *Plant Genet. Resour. Charact. Util.* 15, 321–326.

Tufail, A., Adugna, H., Ande, E., Robel, E., Selam, H., Selam, T., 2015. Eco-friendly approaches for management of bruchid beetle *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae) infesting faba bean and cowpea under laboratory conditions. *J. Stored Prod. Postharvest Res.* 6(3), 25–29.

Uceda, M., Hermoso, M. 1998. La calidad del aceite de oliva. In D. Barranco, R. Fernandez-Escobar, L. Rallo (Eds.), *El Cultivo del Olivo* (pp. 547–572). Madrid, Spain: Junta de Andalucía Ediciones Mundi-Prensa.

Uddin, II RO., Sanusi, SA., 2013. Efficacy of olive oil, groundnut oil, soybean oil and palm kernel oil in the control of *Callosobruchus maculatus* in stored cowpea (*Vigna unguiculata*), *Agrosearch.* 13, 67–72.

Udo, IO., Harry, GI. 2013. Effect of groundnut oil in protecting stored cowpea (*Vigna unguiculata*) from attack by cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus*). *J Biol Agric Health Care.* 3(1), 89–92.

Urrutia, RI., Yeguerman, C., Jesser, E., Gutierrez, VS., Volpe, MA., González, JOW., 2021. Sunflower seed hulls waste as a novel source of insecticidal product: pyrolysis bio-oil bioactivity on insect pests of stored grains and products. *J Clean Prod.* 287, 125000.

USDA, 2014. United States Department of Agriculture. Retrieved 2018 March 23 from <https://www.fas.usda.gov/data/worldagricultural-production>.

Uvah, I.I., Ishaya, A.T., 1992. Effect of some vegetable oils on emergence, oviposition and longevity of the bean weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.). *Trop. Pest Manag.* 38, 257–260.

Vadivambal, R., Jayas, DS., White, NDG., 2008. Mortality of stored-grain insects exposed to microwave energy. *Trans ASABE.* 51(2), 641–647.

Vail, PV., 1991. Novel virus composition to protect agricultural commodities from insects. US Patent no. 07/212,641.

Valenzuela-Aragon, B., Parra-Cota, FI., Santoyo, G., ArellanoWattenbarger, GL., de Los Santos-Villalobos, S., 2019. Plant-assisted selection: a promising alternative for in vivo identification of wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. Durum) growth promoting bacteria. Plant Soil. 435, 367–384 .

Velasco, J., Dobarganes, C., 2002. Oxidative stability of virgin olive oil. Eur J Lipid Sci Technol. 104(9-10), 661–676.

Vera, DN., Jiménez-Carvelo, AM., Cuadros-Rodríguez, L., Ruisánchez, I., Callao, MP., 2019. Authentication of the geographical origin of extra-virgin olive oil of the Arbequina cultivar by chromatographic fingerprint and chemometrics. Talanta. 203, 194–202.

Villarejo, AB., Ramirez-Sanchez, M., Segarra, AB., Martinez-Canamero, M., Prieto, I., 2015. Influence of extra virgin olive oil on blood pressure and kidney angiotensinase Activities in spontaneously hypertensive Rats. Planta Med. 81, 664–669.

Vioque, E., Morris, LJ., 1961. Minor components of olive oils I. Triterpenoid acids in acetone-extracted orujo oil. J. Am. Oil Chem. Soc. 38, 485–488.

Wahedi, JA., Zakariya, R., Danba, EP., David, DL., Mshelmbula ,BP., Buba, U., Barau, BW., Dauda, UD., Bello, H., 2015. Ethnobotanical studies of the efficacy of five oils at graded levels on adult *Callosobruchus maculatus* reared on cowpea. *IJRR*. 2,481-486.

Wale, M., Assegie, H., 2015. Efficacy of castor bean oil (*Ricinus communis* L.) against maize weevils (*Sitophilus zeamais* Mots.) in northwestern Ethiopia. J. Stored Prod. Res. 63, 38–41.

Wanderley, MJA., Costa, NPD., Silva, TMB., Cruz, GBA., Melo, TDS., 2019. Use of vegetable oils to control bean weevil development on cowpea grains. Rev Caatinga. 32(4), 1117–1124.

Waongo A., Traoré, F., Sankara, F., Dabiré-Binso, C., Sanon, A., 2018, Evaluation du potentiel de développement de *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera : Bostrichidae) sur deux variétés locales de sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) du Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci., 12(5), 2143-2151.

Weaver, DK., Subramanyam, BH., 2000. Botanicals. In Subramanyam B.H., Hagstrum D.W., (eds) Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM. 303-320. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

Weinzierl, RA., 2000. Botanical insecticides, soaps and oils, In: Biological and Biotechnological Control of Insect Pests, Jack, E.R. (Ed.) . Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 101–121.

Wenda-Piesik, A., Piesik, D., Krasińska, A., 2018. Response of mated insects of both sexes of granary weevil to blends of volatiles – short communication. Plant Prot. Sci. 54, 190–193.

White, NDG., Jayas, DS., Muir, W E. 1995. Toxicity of carbon dioxide at biologically producible levels to stored-product beetles. Environ. Entomol. 24, 640–647.

White, NDG., Leesch, JG., 1996. Chemical control, pp. 287-330. In Subramanyam, B., Hagstrum, DW., [eds.], Integrated management of insects in stored products. Marcel Dekker, New York.

Wijayarathne, LKW., Dissanayaka, DMSK., Sammani AMP., 2019. Variation in *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) progeny adult emergence in different animal feed stored under ventilated and non-ventilated conditions. J. Stored Prod. Res. 84, 101516. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101516>

Williams, RN., Floyd, EH., 1971. Effect of two parasites, *Anisopteromalus calandrae* and *Choetospila elegans*, upon populations of the maize weevil under laboratory and natural conditions. J. Econ. Entomol. 64, 1407-1408.

Win, N., Rolania, K., Yadav, SS., 2020. Effect of seasonal variation on the biology of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*, (Fabricius) on paddy. JEZS. 8(3), 694-699

Winterbottom, DC., 1922. Weevil in wheat and storage of grain in bags. A record of Australian experience during the war Period (1915 to 1919). Government Printer, North Terrace, Adelaide, Australian.

Xiang, C., Xu, Z., Liu, J., Li, T., Yang, Z., Ding, C., 2017. Quality, composition, and antioxidant activity of virgin olive oil from introduced varieties at Liangshan. LWT Food Sci. Technol. 78, 226–234.

Yadav, J P., Bhargava, MC., Yadav, SR. 2008. Effect of various plant oils on rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) in wheat. Indian J Pl Prot. 36, 35-39.

Yakhlef, G., Hambaba, L., Pinto, DCGA., Silva, AMS. 2020. Chemical composition and insecticidal, repellent and antifungal activities of essential oil of *Mentha rotundifolia* (L.) from Algeria. Ind Crops Prod. 158, 112988.

Yallappa. R., Nandagopal . B., Thimmappa, S., 2012. Botanicals as grain protectants. Psyche J. Entomol. 646740.

Yanik, DK., 2017. Alternative to traditional olive pomace oil extraction systems: Microwave-assisted solvent extraction of oil from wet olive pomace. *LWT - FOOD SCI TECHNOL.* 7, 45–51.

Yankanchi, SR., Jadhav, AD., Patil, PM., 2014. Insecticidal and repellent activities of *Clerodendrum serratum* L. leaf extract against rice weevil, *Sitophilus oryzae* L. *AJBLS* 3, 35-39.

Yun-tai, QI., Burkholder, WE., 1981. Protection of stored wheat from the granary weevil by vegetable oils. *J. Econ. Entomol.* 74, 502-505.

Yevoor, 2003, Biology and management of rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Linn.) in maize grains. M. Sc. (Agri.) Thesis, University of Agricultural Sciences, Dharwad.

Yoon, C., Kang, SH., Jang, SA., Kim, YJ., Kim, GH., 2007. Repellent efficacy of caraway and grapefruit oils for *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Asia-Pacific Entomol.* 10, 263-267.

Yuya, AI., Tadesse, A., Tefera, T., 2009. Efficacy of combining Niger seed oil with malathion 5 % dust formulation on maize against the *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *J. Stored Prod. Res.* 45, 67-70.

Ziaee, M., Atapour, M., Marouf, A., 2018. Persistence and efficacy of four Iranian diatomaceous earths against three stored grains beetles. *Proc. Natl Acad. Sci. India Sect. B: Biol. Sci.* 88, 411–419.

Zohry, NMH., Ali, SA., Ibrahim, AA., 2020. Toxicity of ten native edible and essential plant oils against the granary weevil, *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Egypt. Acad. J. Biolog. Sci.* 12(2), 219-227.

Warchalewski, JR., Gralik, J., Nawrot, J., 2000. Possibilities of reducing stored grain damage caused by insect pests. *Postępy Nauk Rol.* 6, 85–96.

Annexes

Annexe 1. Principales caractéristiques physiques des grains de blé (Jeantet et al., 2007).

Caractéristiques	<i>Triticum durum</i>	<i>Triticum aestivum</i>
Poids spécifiques (Kg.hL⁻¹)	75-85	70-80
Masse de mille grains	25 à 60 g	35 à 50 g
Aspect	Allongée, sillon ouvert, enveloppe blanches, ambrées, épi barbu	Forme ronde, peu allongée, sillon fermé, enveloppes rousses, épis peu barbus
Longueur	6 à 9 mm	5 à 8 mm
Largeur	2.5 à 4 mm	3 à 4 mm
épaisseur	2.2 à 3.2mm	2.5 à 3.5 mm
Caractéristiques physiques de l'amande	Vitreuse, résistante à l'écrasement	Farineuse, vitreuse, peu résistante à l'écrasement

Annexe 2. Critères de classification des huiles d'olive et de grignon d'olive (COI, 2018)

	Huile d'olive vierge extra (HOV E)	Huile d'olive vierge (HO V)	Huile d'olive vierge courante (HOV C)	Huile d'olive vierge lampante (HOV L)	Huile d'olive raffinée (HR)	Huile d'olive (HOR + HOV)	Huile de grignons d'olive brute (HGB)	Huile de grignons d'olive raffinée (HGR)	Huile de grignons d'olive (HGR + HOV)
Acidité libre (% acide oléique)	≤0,80	≤2, 0	≤ 3,3	> 3,3	≤0,3 0	≤1,0	-	≤ 0,30	≤1,0
Indice de peroxyde (mEq O2 / kg d'huile	≤20,0	≤20 ,0	≤20,0	-	≤ 5,0	≤15, 0	-	≤5,0	≤15,0
Absorbance dans l'ultraviolet ($K_{1cm}^{1\%}$) - K_{232} nm - K_{270} nm	≤2.50 ≤0.22	≤2. 60 ≤0. 25	- ≤0.30	- -	- ≤1.2 5	- ≤1.1 5	- -	- ≤2.0	- ≤1.70

Annexe 3. Composition en acide gras révélée par chromatographie en phase gazeuse (% m/m d'esters méthyliques) des huiles d'olives et de grignons d'olive (COI, 2018).

Acides gras	Teneur en (%)
Acide myristique	≤0,03
Acide palmitique	7,50 - 20,00
Acide palmitoléique	0,30 - 3,50
Acide heptadécanoïque	≤0,40
Acide heptadécénoïque	≤0,60
Acide stéarique	0,50 - 5,00
Acide oléique	55,00 - 83,00
Acide linoléique	2,50 - 21,00
Acide linolénique	≤ 1,00
Acide arachidique	≤ 0,60
Acide gadoléique (eïcosénoïque)	≤0,50
Acide béhénique	≤ 0,20 *
Acide lignocérique	≤ 0,20

* Limite portée à < 0,30 pour les huiles de grignons d'olive

Annexe 4 . Photo d'un système d'extraction à l'aide de l'oléodoseur (photo originale, 2021).



Annexe. 5. Détermination de l'acidité libre (EEC, 2001)

Réactifs :

- Ethanol à 96%
- Solution de KOH à 0,1N
- Phénophtaléine, solution à 10g/L dans l'éthanol à 96%

Mode opératoire :

Ce dosage volumétrique se fait par le titrage de 10 g d'échantillon additionné de 50 ml de mélange éthanol-etherdiéthylique (v : v) avec de la potasse éthanœique 0.1 N, en présence de phénol phtaléine (1% dans l'éthanol pur) qui vire au rose persistant :

L'acidité en % d'acide oléique est donnée par l'équation suivante :

$$\frac{N \times V \times M}{10m}$$

10m

Où :

N : Normalité de KOH (0,1 N) ;

V (ml) : Volume de la chute dans la burette ;

M : Poids moléculaire de l'acide oléique (282,5g/mole) ;

m (g) : Masse de la prise d'essai

Annexe 6. Détermination de l'indice de peroxyde (EEC, 2001).

Réactifs :

- Chloroforme ;
- Acide acétique pur ;
- Solution d'iodure de potassium saturée récemment préparée;
- Solution de thiosulfate de sodium à 0,01N ;
- Empois d'amidon à 1 g pour 100 ml d'éthanol.

Mode opératoire :

On pèse, à 0.001g près, dans un ballon 1 g de la matière grasse à laquelle on ajoute 10 ml de chloroforme et 15 ml d'acide acétique, avec une légère agitation pour faire dissoudre l'échantillon, puis on ajoute 1 ml de la solution d'iodure de potassium fraîchement préparée.

On bouche aussitôt le flacon, qu'on agite pendant 2 min, puis on laisse le ballon à l'abri de la lumière pendant 5 minutes à une température comprise entre 15 et 25 °C. Ajouter 75 ml d'eau distillée et quelques gouttes d'empois d'amidon à 1%, la coloration bleu noirâtre apparaît. Titrer l'iode libéré jusqu'à la décoloration complète avec la solution de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) à 0.01N, soit V ce volume.

On effectue un essai à blanc (sans corps gras) dans les mêmes conditions. Le résultat est exprimé en milliéquivalent d'oxygène actif par kg d'huile.

Expression des résultats :

$$\text{IP}(\text{meq d'O}_2/\text{Kg}) = \frac{(V-V_0)}{P} \times 10^3$$

Où :

IP (meq d'O₂/Kg): indice de peroxyde;

V (ml) : volume de thiosulfate de sodium utilisé pour la prise d'essai ;

V₀ (ml) : volume de thiosulfate de sodium utilisé pour l'essai à blanc ;

N : normalité de la solution de thiosulfate de sodium (0,01N) ;

P (g) : poids de la prise d'essai utilisé.

Annexe 7. Détermination de l'absorbance spécifique au rayonnement UV (EEC, 2001)

La méthode utilisée pour la détermination de l'absorbance spécifique au rayonnement Ultra-Violet est décrite dans le règlement CEE 2568/91 (EEC, 2001). Le principe de la

méthode consiste en la mesure de l'absorbance à 232 nm et 270 nm d'un échantillon de corps gras dilué dans l'hexane à l'aide d'un spectrophotomètre UV.

Réactifs :

Hexane pur.

Mode opératoire :

Peser, à 0.0001 près un échantillon de 1g d'huile dans une fiole jaugée. Dissoudre cette prise d'essais dans l'hexane pur, afin de lire la densité optique à ces 2 longueurs d'ondes. Mesurer l'absorbance de la solution de la matière grasse dans une cuve en quartz par rapport au solvant pur (blanc) à l'aide d'un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes λ d'absorption maximale, soit 232nm et 270 nm.

La relation donnant les résultats de l'extinction est : $E_{1\text{cm}}(\lambda) = A_{\lambda} / C \times D$

$E_{1\text{cm}}(\lambda)$: extinction spécifique à la longueur d'onde λ ;

A_{λ} : densité optique à la longueur d'onde ;

D (cm) : épaisseur de la cuve ;

C (g /100 ml) : concentration de la solution.

Publications

Insecticidal activity of crude olive pomace oils from Kabylia (Algeria) against the infestation of *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Sitophilus oryzae* (L.) in stored wheat grains

S. Kerbel^{1*}, H. Azzi², H. Kadi³, H. Fellag⁴, J-F. Debras⁵, A. Kellouche¹

¹Laboratoire de production et de sauvegarde des espèces menacées et des récoltes. Influence des variations climatiques. Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou 15000, Algeria.

²Laboratoire Ressource Naturelle, Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, UMMTO, Algeria

³Laboratoire de Chimie Appliquée et Génie Chimique, Faculté des sciences, Université Mouloud Mammeri, 15000, Tizi-Ouzou, Algérie.

⁴Laboratoire de Mathématiques Pures et Appliquées, Faculté des sciences, Université Mouloud Mammeri, 15000, Tizi-Ouzou, Algérie.

⁵Unité Plantes et Systèmes de cultures Horticoles, INRA, Domaine Saint-Paul, 84914 Avignon, France.

*Author for correspondence. E-mail: kerbelsafia@yahoo.com

Abstract The insecticidal effect of four crude olive pomace oils extracted from pomace collected from four localities of Kabylia, refined olive pomace oil and extra virgin olive oil were assessed under laboratory conditions for the control of adults of *Rhyzopertha dominica*(Fabricius, 1792) (Coleoptera: Bostrychidae)) and *Sitophilus oryzae*(Linnaeus, 1763) (Coleoptera: Curculionidae).The doses used range from 0.1 to 0.4ml/25g of durum and soft wheat seeds. In addition, the quality indices and the fatty acid composition of these oils were evaluated. The results show that the legal quality indices were well within the legal limits for COP, ROP and EVO categories. The effectiveness of these vegetable oils is highly dependent

on the insect species, the dose rate, the exposure time and the type of oil tested. The main fatty acids from all samples tested, were oleic (61.89-79.25%), palmitic (8.34 - 15.71%) and linoleic (8.17 - 16.52 %) acids. For both species and substrates tested, mortality is dose and time of exposure dependent. The highest dose (0.4 ml/25g) causes $\geq 63.75\%$ mortality, after 24h of exposure. Comparison of LD₅₀ (ml/25 g) indicates that olive oil was generally more toxic than crude and refined pomace oils, for both insects and substrates, values varies from 0.005 to 0.189. The most sensitive insect was *S. oryzae* for most vegetable oils tested. Likewise, oils significantly reduce the F1 offspring of both insects and seed weight losses. No progeny were observed in the two pests at the highest dose, and therefore no weight loss was recorded. The results also revealed that the six oils affect the germination capacity of durum and soft wheat seeds when the dosage is increased. The results collected remain encouraging for the recommendation of natural substances as part of integrated pest management programmes against insect pests of stored grains.

Key words: Valorisation, oil of olive cake, gas chromatography, contact toxicity, *Triticum aestivum*, *Triticum turgidum*, stored product pests.

INTRODUCTION

In Algeria, cereals, mainly wheat (*Triticum aestivum* L.), occupy a strategic place in the food supply system and in the national economy (Benbelkacem & Kellou 2000; Lakhdari & Ayad 2009). Touchan *et al.* (2016) reported that durum wheat (*Triticum turgidum* L.) represents 46% of grain crops in Algeria. Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) has a total production of more than 600 million t per year (Bellatreche *et al.* 2019).

Among the major constraints on effective production and utilisation of cereal crops in Africa are losses resulting from attacks on stored products by insect pests (Phillips & Throne 2010; Midega *et al.* 2016). For example, insects, mainly coleopterans, are responsible for huge

grain losses of up to 57% in Africa (Kumar & Kalita 2017). *Rhyzopertha dominica*(F.) (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) are among the most common and destructive pests of stored grains worldwide (Gourgouta *etal.* 2019; Paloukaset *al.* 2020). They are classified as primary colonisers and are responsible for significant damage if no protective measures are taken (Chintzoglouet *al.* 2008; Obeng-Ofori 2011; Mason & McDonough2012).

Currently, the control of these insects is mainly based on the use of synthetic pesticides (Gossen & Mcdonald 2019; Machekano *etal.*2019). However, the development of genetic resistance in many species, the demand for food without residues, the growing concern for worker safety and the environmental risks associated with methyl bromide (Boyer *etal.* 2012) have led researchers to assess the potential use of safer alternative control methods for the protection of stored products (Donahaye 2000;Adak *etal.* 2019). In this respect, the use of plant-derived products is seen as a promising alternative to traditional pesticides currently used against stored product insects (Guettal *et al.* 2020 a, b; Kellouche & Soltani 2004; Isman 2006; Saroj *etal.*2020). Of these, vegetable oils have been extensively researched as natural insecticides against several insect species of stored products with promising results (Obeng-Ofori & Amiteye 2005; Nikpay2006; Rahman & Talukder 2006; Demissie *etal.* 2008; Udo & Harry 2013; Tufail *etal.* 2015; Wahedi *et al.* 2015; Wale & Assegie2015; Jilu *et al.*2018).

The mode of action of these oils has yet to be confirmed, but most appear to cause the death of the insect egg, larvae or adult by suffocation (Don-Pedro 1989; Ait Aider *etal.* 2016).

Among the edible vegetable oils, olive oil is an essential ingredient of the Mediterranean diet and it is widely known for its health-promoting proprieties (Foscolou *etal.* 2018). This oil has also been traditionally used in the region of Kabylia (Algeria) as a post-harvest grain protectant against insect pests (Kellouche *etal.*2004).

Olive pomace (OP) is one of the most important by-products produced by the olive oil industry it can contain up to 12% of oil and is mainly composed of water, pieces of pit, skin and pulp (Meziane & Kadi 2008). It is estimated that the production of OP may be as much as 2 881500 t/year worldwide (Yanguietal. 2009; Ravindran & Jaiswal 2016; Nunes *etal.* 2020).

Appropriate use of this olive pomace production could improve the economic status of olive cultivation, and mitigate environmental problems (Dermeche *etal.*2013; Nunes *etal.* 2019; Ribeiro *etal.*2020); it is mainly used for extraction of the residual oil (Clemente 1997; Meziane 2013; Mateos *etal.* 2020; Ribeiro *et al.* 2020). The extracted oil is referred to as 'crude olive pomace oil' and must be refined before being consumed (EEC 2001).

Olive oil(*Olea europaea* Linné) has been the subject of several studies by various researchers, who have demonstrated its toxicity to various insects of stored grains, which is attributed to oleic acid(Khalequzzaman *etal.* 2007; Kellouche *etal.*2004; Ait Aider *etal.* 2016). To our knowledge, there has to date been little research done on the applications of olive by-products as bio-insecticides.

In this context, the aim of this work consisted in assessing the value of a local olive oil by-product, olive pomace, by recovering its residual oil and studying the biological activity of crude oils extracted from olive pomace collected in four localities in Kabylia, refined olive pomace oil and olive oil (reference oil), against two primary insect pests of stored products, *S. oryzae* and *R. dominica*.

MATERIALS AND METHODS

Vegetable oils

Samples and oil extraction

Six products were used, four crude olive-pomace oils (COP), one refined pomace oil (ROP) and one extra-virgin olive oil (EVO). The ROP sample was purchased from a

commercial refining plant (Mystic Moments, Fordingbridge, U.K.). All samples were stored in dark bottles at 4°C until use.

Olive-pomace oils

The olive-pomace samples used to extract the oils were obtained from four olive oil mills (with a three-phase centrifugation system) in four localities of Kabylia (Algeria): Tadmait (altitude 52m), Maatkas (altitude 620m), M'Chedellah (altitude 440m) and Bechloul (altitude 414m), in December 2016. The olives processed were of the 'Chemlal' variety. The moist olive-pomace samples (initial humidity varied from 40.0 to 51.32%) were dried in an oven at 60 ± 1 °C to reach a residual moisture content of about 8% (6.38 to 7.77%) (Table 1), and were then stored at –5 °C until use. Oil yield of the samples varied from 5.45 to 7.42 % (Table 1).

Oil extraction from the olive pomace was effected in a Soxhlet apparatus (250ml), with an organic solvent, hexane (purity 95%), according to regulation EC No. 2568/91 relative to the characteristics of olive oils and olive-pomace oil and the relevant methods of analysis. The weight of cake subjected to the extraction was always 20 g. The miscella was distilled by means of a rotary evaporator. Extracted oil samples were designated by COP1 (Tadmait), COP2 (Maatkas), COP3 (M'Chedellah) and COP4 (Bechloul).

Olive oil

Olive oil was obtained from olives of the Chemlal cultivar, picked by hand at an optimum stage of ripeness from an orchard located in the Tizi-Ouzou area in the north of Algeria, during the 2016–2017 harvest season. Sampling consists of harvesting 2 kg of olives, from the inside and outside of 10 randomly selected trees (IOC 2011). The olive oil was extracted using a laboratory-scale oil mill in the first 48 h after harvesting. This unit is equipped with a hammer crusher, malaxator and centrifuge. The oil was separated from the wastewater by decanting.

Analytical methods

All the pomace oil samples underwent routine analyses for a first characterisation, i.e., determination of free acidity (%), peroxide values (PV), extinction coefficients (K_{232} , K_{270}) and fatty acid composition, as prescribed by the analytical methods of EC Regulations EEC/2568/91 and subsequent amendments (EEC 2001). Free acidity given as percentage of oleic acid was determined by titration of a solution of oil dissolved in 1:1 ethanol:ether with ethanolic potash. The peroxide value (PV), expressed in milli-equivalents of active oxygen per kilogram of oil (mequivO₂/kg), was determined by reacting oil and 3:2 chloroform:acetic acid with potassium iodide in darkness; the free iodine was then titrated with a sodium thio-sulphate solution. The K_{232} and K_{270} extinction coefficients were calculated from absorption at 232 and 270 nm, respectively, collected on a UV mini-1800 instrument (Shimadzu Co., Kyoto, Japan), using 1 % oil in cyclohexane and path length of 1 cm. The fatty acid composition was determined after the conversion of triglycerides to methyl esters by vigorous shaking of a solution of oil in hexane (0.1 g in 2 ml) with 0.2 ml of 2 N methanolic potassium hydroxide (ISO 5509: 2000, point 5 IUPAC Method 2.301). A gas chromatograph (GC) (Chrompack CP 9002, Varian Inc, Holland) equipped with split/splitless injector, and flame ionisation detector (FID) was employed. Separations were made on DB23 (50% cyanopropyl) capillary column (30 m × 0.32 mm i.d., 0.25 µm film thickness) with nitrogen as the carrier gas. The injector, detector and oven temperatures were 250, 260 and 220°C, respectively. The injection volume was 0.5 µl. Three replicates for each determination were analysed per sample; except for fatty acid composition (one replicate was prepared and analysed per sample).

Insects

Adults of *S. oryzae* and *R. dominica* used in the bioassays come from cultures reared in the laboratory, on whole wheat (*T. durum* and *T. aestivum*), in an oven at 30 ± 1 °C, $70 \pm 5\%$ RH,

and continuous darkness. The initial population was collected from storage facilities and kept in our laboratory for more than 2 years. In the experiments, only unsexed 1- to 7-day-old adults were used.

Substrates

Untreated, clean and infestation- and pesticide-free local seeds of durum wheat and soft wheat were used in the bioassays. The moisture content of the two tested grain commodities, as determined by oven drying, ranged between 11.0 and 11.7%.

Bioassays

The biological tests were carried out in an oven under the conditions described above. The vegetable oils were applied at three doses: 0.1, 0.2 and 0.4ml/25g of wheat. For each test (oil-dose-substrate combination), 25 g of grains were treated with the required amount of oil (Kerbel *et al.* 2021). Each sample was introduced, separately for each combination, into glass Petri dishes (13 cm diameter and 3 cm high), which were shaken for approximately 15 min to achieve equal distribution of the oil throughout the entire grain mass. In addition, a series of additional lots with untreated wheat was used as a control. The Petri dishes were then placed in incubators, under the conditions aforementioned. Subsequently, 20 unsexed adults of *S. oryzae* were introduced into each dish. The same procedure was followed in the case of *R. dominica*. Each test (insect-substrate-oil-dose combination) was repeated four times. Mortality was assessed after 24 h, 48 h, 72 h, and 96 h of exposure for each species (Kerbel *et al.* 2021) and the percentage of cumulative mortality was corrected using the Abbott formula (Abbott 1925). Insects were presumed dead if they did not move (legs and antennae) when touched with a pin. The dose required to kill 50% of the insects (LD₅₀) was estimated after 72 h of exposure using probit analysis (Finney 1971; Abdelli *et al.* 2016).

After the last mortality count (96 h), all adults (dead and alive) were removed and the Petri dishes were left under the same conditions for an additional period of 45 days. Then, emerged individuals of *S. oryzae* and *R. dominica* were counted daily in each Petri dish.

After adult emergence, the seeds were weighed to estimate grain weight loss caused by the two pests. The percentage of weight loss was determined as described by Khare & Johari (1984): $\% \text{ seed weight loss} = \frac{\text{weight loss}}{\text{initial weight}} \times 100$.

To determine the effect of vegetable oil treatments on seed germination, we proceeded as follows: 50 grains for each test were randomly sampled from treated and untreated seed lots. The selected seeds were placed on moist cotton in glass Petri dishes (13 cm diameter and 3 cm high) and incubated for 7 days at room temperature (28 to 32 °C). The germination percentage was calculated as:

$$\left(\frac{\text{germinated seeds}}{\text{total seeds}} \right) \times 100 \text{ (Nikpay 2006)}.$$

Data analysis

All analyses were carried out in four replicates and all results were expressed as mean value $\pm$ standard deviations (SD). The data were processed using the free R language. The Anderson-Darling normality test applied for the four measured variables (adult mortality, emerged adults, grains weight loss and seeds germination) asserts, by the *P*-values (Table 2), that none of these variables follow a normal distribution. Therefore, the non-parametric Kruskal-Wallis test was used for the four variables with insect mortality as the response variable and type of treatment, insect species, dose rate, exposure time and type of substrate as the main factors. The same procedure was carried out for the progeny production, the weight loss and germination rate of the grains with the type of treatment, insect species, dose rate and type of substrate as the main factors. Dunn's multiple comparison test with Bonferroni adjustment was used to assess differences between different groups. Differences were considered statistically significant at $P < 0.05$ (Dagnelie 2012).

RESULTS

Characterisation of the six oils

The results obtained show that for the ROP and EVO samples, the free acidity, peroxide value (PV) and specific absorptions at 232 and 270 nm, falls generally within the ranges established by EC regulation 2568/91 (1991) for these categories (Table 3). For COP oils, the values of free acidity vary from 11.48% (COP4) to 34.13% (COP2). This increase in free acidity is due to triglyceride hydrolysis influenced by the drying and extraction temperature of the pomace, the relatively long extraction time and the nature of the solvent (Kmieciak *et al.* 1991; Yanik 2017). Moreover, PV and K232 were used as indicators of olive oil primary oxidation, while the K270 values are indicative of secondary oxidation. The mean levels of PV range from 23.46 to 50.65, K232 from 3.05 to 4.05, and K270 from 0.55 to 1.06. The chemical characteristics of the crude olive-pomace oils are similar to those reported in previous papers for these oils (Kmieciak *et al.* 1991; Gomes & Caponio 1997, 1998; Amarni & Kadi 2010; Yanik 2017). The fatty acid (FA) composition, from all samples tested, corresponds to the normal range indicated for EVO (EEC 2001). The main fatty acids were oleic, palmitic and linoleic acids. Stearic, palmitoleic, linolenic, arachidic, eicosenoic and behenic acids were also detected in small amounts (Table 3).

Effect of oils on adult mortality

All factors (dose: $P < 0.001$; exposure time: $P < 0.001$; insect species: $P < 0.001$ and type of treatment: $P < 0.001$) significantly influence the mortality rate, except the substrate ($P = 0.36$) (Table 2).

Mortality of *R. dominica*

According to the results obtained (Fig. 2), after 24 h of exposure, all the oils tested (COP, RPO and EVO) at the highest dose (0.4 ml/25g) caused total mortality (100%) in adults of *R*

dominica, in the presence of durum wheat seeds, with the exception of treatment with olive oil. For this substance, the same effect was only reached after 72 h of exposure. In the case of soft wheat, the six treatments showed similar trends of mortality to that observed in the presence of durum wheat seeds; however, no product caused total adult mortality of *R. dominica* even after 96 h of exposure, with the exception of RPO, tested at the highest dose (0.4 ml/25g) (Fig. 3). For the two substrates tested, the viability of adults of *R. dominica*, treated with COP, ROP and EVO at the lowest dose (0.1 ml/25g), remains high even after 96 h of exposure (Figs 2 and 3).

Mortality of *S. oryzae*

The results obtained (Fig. 2) show that after 24 h of exposure, all adults of *S. oryzae* died in the presence of durum wheat treated with RPO and EVO at the highest dose (0.4 ml/25g). For COP, mortality increased with exposure time and generally reaches 100% after 72 h. Similar mortality rates were also recorded for soft wheat, but after 96 h of exposure (Fig. 3). In contrast to lesser grain borer, the tested oils ($P < 0.001$), at the lowest dose (0.1 ml/25g) on both substrates, caused mortality higher than 47% after 96h, except COP4, causing low weevil mortality (<19%) (Figs 2 and 3).

These data show that *S. oryzae* was more sensitive than *R. dominica* to the different treatments (Figs 2 and 3, Table 4). The toxicity of the six oils, based on the LD₅₀ (ml/25g) values for 72 h mortality data, is shown in the table 4. For example, in the case of *S. oryzae* infesting durum wheat, the order of toxicity is as follows: EVO (0.025), COP3 (0.038), ROP (0.059), COP1 (0.076), COP2 (0.120), COP4 (0.180). However, for *R. dominica*, the order of toxicity is: EVO (0.183), COP4 (0.198), ROP (0.210), COP3 (0.211), COP1 (0.223), COP2 (0.227)(Table 4).

Effect of oils on progeny production

Progeny production was significantly affected by the insect species ($P < 0.001$), the dose rate ($P < 0.001$) and type of treatment ($P = 0.036$). However, substrate type had no impact ($P = 0.78$) (Table 2).

For the two tested substrates, the number of progeny in untreated lots (control) ranged from 40.25 to 105.0 for *R. dominica* and from 20.25 to 27.00 for *S. oryzae* (Fig.4).

Results (Fig. 4) show a significant reduction in the offspring numbers of both insect pests in all the treated lots, compared with the controls. Thus, for *R. dominica* infesting both substrates, adult viability gradually decreased with increasing doses; progeny production was completely suppressed in treatments with ROP, at doses ≥ 0.2 ml/25g and at a dose of 0.4 ml/25g for treatments with COP and EVO. For *S. oryzae*, no progeny were observed on seeds of durum wheat and soft wheat treated with COP, ROP and EVO at doses ≥ 0.1 ml/25g (Fig. 4).

Effect of oils on grain weight loss

All factors (dose rate: $P < 0.001$; insect species: $P < 0.001$ and substrate: $P = 0.027$) significantly influence the grain weight loss, except the type of treatment ($P = 0.20$) (Table 2). The box-plots for grain weight loss versus treatment type, dose rate, substrate and insect species are shown in fig. 1c.

For the two substrates tested, the results (Fig. 5) show the highest weight losses in the untreated lots, ranging from 4.30 to 8.68%, and from 1.71 to 2.75%, for *R. dominica* and *S. oryzae*, respectively. The COP, ROP and EVO caused a considerable reduction in percentage weight loss, compared with the controls. For all oils tested, the treatment with the highest dose (0.4 ml/25g) completely protected wheat seeds from attacks by *R. dominica*. In the case of *S. oryzae*, no weight loss was recorded in lots treated with doses ≥ 0.1 ml/25g in all treatments (Fig.5).

Effect of oils on seed germination

All factors significantly affected the germination: dose rate ($P < 0.001$), the substrate ($P < 0.001$); the type of treatment ($P < 0.001$) and the insect species ($P < 0.001$) (Table 2). For both insect pests, results (Fig.6) show that the germination rates of the control lots (untreated and non-infested grains) ranged from 91 (durum wheat) to 96.5% (soft wheat). Seed germination was significantly adversely affected as oils concentration increased; however, seed germination was more drastically reduced at the highest dose (0.4 ml /25g), ranging from 20.00 to 50.0% (*R. dominica*), and from 8.00 to 47.00% (*S. oryzae*) (Fig.6).

DISCUSSION

The results of this study reveal that COP, ROP and EVO have shown significant insecticidal activity against *S. oryzae* and *R. dominica* infesting durum and soft wheat seeds. The oils showed contact toxicity against adults of these pests, a significant reduction of its offspring and consequently a reduction in weight loss caused to grains. The effectiveness of these vegetable oils is highly dependent on the insect species, the dose rate, the exposure time and the type of oil tested.

Under our experimental conditions, the mortality of the two beetle species tested varied with the dose rate and the exposure time. These oils showed contact toxicity against adults of *S. oryzae* and *R. dominica* infesting durum and soft wheat seeds; this corroborates previous work assessing the effectiveness of different vegetable oils on the same pests. We can cite, in particular, those of Ivbijaro *et al.* (1985) on coconut, groundnut and palm oils (5–10 ml/kg of maize grains), Tembo & Murfitt (1995) on groundnut, rape seed and sunflower oils (10 ml/kg of wheat grain). Similar results were obtained by Obeng (1995) with cottonseed, soybean, corn, groundnut and palm oils (10ml/kg of maize and sorghum), Nikpay (2006) on chamomile, sweet almond and coconut oils (10 ml/kg of wheat). In addition, Kellouche *et al.*

(2004) and Ait Aider *et al.* (2016) have shown the effectiveness of treatments with different vegetable oils, including olive oil, and the major fatty acids contained in olive oil (oleic, linoleic, stearic, and palmitic) against *Callosobruchus maculatus*(Fabricius,1775)(Coleoptera: Chrysomelidae)(0.8 ml/50g of cowpea).

The characteristics of vegetable oils can influence their insecticidal activity (Kellouche *et al.* 2004). Despite the fact that all oils tested revealed strong contact toxicity against both insect species, olive oil showed the highest biological activity in the presence of the two infested substrates. Pacheco *et al.* (1995) noted that crude castor oil was more effective than refined soybean oil against *C. maculatus* and *Callosobruchus phaseoli*(Gyllenhal, 1833) (Coleoptera: Chrysomelidae)in stored chickpeas. The toxic effects of crude oils could indeed be attributed to possible synergistic activity between their constituents (Kher 2006; Ait Aider *et al.*2016).

In our study, *S. oryzae* was shown to be more susceptible to the six treatments than *R. dominica*. Differences in insect pest responses to different vegetable oils have already been reported (Shaaya *et al.* 1997), and could be attributed to morphological and behavioural differences between the insects. For example, Hill (1990) reported that *S. oryzae* is considered as particularly agile, so the possibility of contact with the toxic substance increases. Sighamony (1986) also reported that clove, cedarwood and karanja oils, applied at 25–100 ppm, were considerably more effective against *S. oryzae* than *R. dominica*.

For both species studied, the difference in the effectiveness of oils with respect to the type of grain used (durum wheat or soft wheat) is not significant. However, it is well known that the type of diet directly affects the development and reproductive rates of *S. oryzae* and *R. dominica* (Mcgaughey *et al.* 1990). In addition, grain type is a critical factor affecting the insecticidal efficacy of vegetable oils against pests of stored products (Khalique *et al.* 1988). Dey & Sarup (1993) tested the effectiveness of eight vegetable oils on adults of *S. oryzae* on

three varieties of stored maize, and observed different levels of efficacy between these varieties.

Regarding the effects of the six vegetable oils on the progeny of *S. oryzae* and *R. dominica*, all the products significantly reduced the emergence of adults of the first generation. This decrease may be due to increased adult mortality and the ovicidal and/or larvicidal properties of vegetable oils, as illustrated in the findings of Kumar & Okonronkwo (1991) and Obeng & Amiteye (2005) with vegetable oils such as palm oil, soybean oil, groundnut oil and coconut oil . These authors suggested that these oils significantly reduce the emergence of adult progeny of *R. dominica*, *S. zeamais* and *S. oryzae*, respectively. Other authors such as Obeng & Reichmut (1999) have reported that treatments with vegetable oils (coconut, sunflower, sesame and mustard) inhibited progeny production in *Sitophilus granarius* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Curculionidae), *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1855) (Coleoptera: Curculionidae), *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Prostephanus truncatus* (Horn, 1878) (Coleoptera: Bostrychidae). In addition, similar results have been obtained with other vegetable oils against *C. maculatus* on cowpea (Ramzan 1994; Shaaya *et al.* 1997; Rahman & Talukder 2006).

On the other hand, all oils tested significantly reduced the feeding activity of *R. dominica* and *S. oryzae*, thus reducing the weight loss of infested wheat grains, compared to untreated control lots. No weight loss was observed in the grains treated with 0.4 ml/25g for the six oils. These results are consistent with other studies that show a positive correlation between the density of emerged adults and the percentage of grain weight loss (Ivbijaro 1985; Braga-Caneppele *et al.* 2003; Law-Ogbomo & Egharevba 2006).

The mode of action of vegetable oils is not clearly defined; it has been suggested that mortality caused by oils is due to anoxia (Don-Pedro 1989) or to the disturbance of normal respiration causing suffocation. The oils could also act as anti-feedants or alter the storage

micro-environment, thereby discouraging insect penetration and feeding (Obeng 1995; Weaver & Subramanyam 2000). Other authors attribute insecticidal activity to triglyceride fractions and oleic acid content (Hill & Schoonhoven 1981; Lienard *et al.* 1993).

Finally, the results obtained also revealed that the six oils tested affect seed germination. This phytotoxicity increases with vegetable oil concentration. Data provided by Tembo & Murfitt (1995) indicate that the application of high doses of groundnut, rape seed and sunflower at doses of 10 ml/kg can significantly reduce seed germination. Yuya *et al.* (2009) and Wale & Assegie (2015) also reported severe reductions in germination in maize grains treated with high levels of Niger seed oil (*Guizotia abyssinica* Cass.) and castor bean oil (*Ricinus communis* L.), respectively.

CONCLUSION

The experiments carried out have shown the effectiveness of treating wheat grains with natural substances such as olive oil and olive-pomace oil to reduce the damage caused by the two main insect pests of stored grains. Olive oil is used in large quantities in local cuisine and can therefore be safely used to process wheat grains. It does not pose any danger to humans or animals, even when the grains are used for consumption. The results obtained are encouraging for integrated crop protection systems that can lead to a reduction in the use of conventional pesticides that are known to have an impact on human health and on the environment. The study also opens the way towards an alternative way to make use of the olive by-products responsible for severe environmental pollution in our region. We recommend that further studies be conducted to determine the efficacy, technical and economic feasibility of the application of these oils at pilot scale, and to assess the effect of these substance on the organoleptic and nutritional quality of grains. In addition, the toxicity of crude inedible olive-

372 pomace oils must also be investigated. It would also be interesting to determine the biological
373 activity of other constituents of the tested oils, as phenolic compounds.

375 ACKNOWLEDGEMENTS

376 We are grateful to the Laboratory of Entomology, University of Tizi-Ouzou (Algeria). We
377 would like also to thank M. Paul for checking the English translation.

379 CONFLICT OF INTEREST

380 We declare that we have seen, read, and understood our guidelines on copyright. We also
381 declare that the authors and co-authors of this work have no conflict of interest with any
382 company or institution.

384 FUNDING

385 This research did not receive any specific grant from funding agencies in the
386 public, commercial, or not-for-profit sectors.

387 REFERENCES

- 388 ABBOTT, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of*
389 *Economic Entomology* **18**: 265–267.
- 390 ABDELLI, M., MOGHRANI, H., ABOUN, A. & MAACHI, R. 2016. Algerian *Mentha*
391 *pulegium* L. leaves essential oil: chemical composition, antimicrobial, insecticidal and
392 antioxidant activities. *Industrial Crops and Products* **94**: 197–205.
- 393 ADAK, T., BARIK, N., PATIL, N.B., GOVINDHARAJ, G.P.P., GADRATAGI, B.G.,
394 ANNAMALAI, M. & RATH, P.C. 2019. Nanoemulsion of eucalyptus oil: An
395 alternative to synthetic pesticides against two major storage insects (*Sitophilus*

- 396 *oryzae*)(L.) and *Tribolium castaneum* (Herbst)of rice. *Industrial Crops and Products*
397 111849.
- 398 AIT AIDER, F.A., KELLOUCHE, A., FELLAG, H.& DEBRAS, J.F.2016.Evaluation of the
399 bio-insecticidal effects of the main fatty acids of olive oil on *Callosobruchus*
400 *maculatus*F. (Coleoptera: Bruchidae) in cowpea (*Vigna unguiculata*) (L.).*Journal of*
401 *Plant Diseases and Protection***123**:235–245.
- 402 AITKEN, A.D. 1975. Insect travellers, I: Coleoptera. Technical Bulletin 31. H.M.S.O,
403 London, U.K.190pp.
- 404 AMARNI, F.& KADI, H. 2010. Kinetics study of microwave-assisted solvent extraction of
405 oil from olive cake using hexane: comparison with the conventional extraction.
406 *Innovation Food Science and Emerging Technologies***11**:322–327.
- 407 ARTHUR, F.H. 1996. Grain protectants: Current status and prospects for future. *Journal of*
408 *Stored Products Research***32**: 293–302.
- 409 BELLATRECHE , A., MNASRI, S., BEN NACEUR , M.& GAOUAR, S.S.B. 2019. Study
410 of the molecular biodiversity of the Saharan bread wheat in Algeria. *Cereal Research*
411 *Communications***47**: 724–739.
- 412 BENBELKACEM, A.& KELLOU, K. 2000. Évaluation du progrès génétique chez quelques
413 variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var durum) cultivées en Algérie. In: Royo,
414 C., Nachit, M., Di Fonzo, N.& Araus , J.L. (Eds) *Durum Wheat Improvement in the*
415 *Mediterranean Region: New Challenges*.105–110. Ceheam, Zaragoza, Spain. (Options
416 méditerranéens: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 40).
- 417 BOYER, S., ZHANG, H.& LEMPÉRIÈRE, G. 2012.A review of control methods and
418 resistance mechanisms in stored-product insects. *Bulletin of Entomological*
419 *Research***102**: 213–229.

BRAGA-CANEPPELE, M.A., CANEPPELE, C., LÁZZARI, F.A. & NOEMBERG-LÁZZARI, S.M. 2003. Correlation between infestation level of *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) and the quality factors of stored corn, *Zeamays* L. (Poaceae). *Revista Brasileira de Entomologia***47**:625–630.

CHINTZOGLOU, G.J., ATHANASSIOU, C.G., MARKOGLOU, A.A. & KAVALLIERATOS, N.G. 2008. Influence of commodity on the effect of spinosad dust against *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *International Journal of Pest Management* **54**:277–285.

CLEMENTE, A., SANCHEZ-VIOQUE, R., VIOQUE, J., BAUTISTA, J. & MILLAN, F. 1997. Chemical composition of extracted dried olive pomaces containing two and three phases. *Food Biotechnology***11**(3):273–291.

DAGNELIE, P. 2012. *Principes d'Expérimentation, Planification des Expériences et Analyses de leurs Résultats*. 2nd Edition. Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique. 413 pp.

DEMISSIE, G., TESHOME, A., ABAKEMAL, D. & TADESSE, A. 2008. Cooking oils and “Triplex” in the control of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) in farm-stored maize. *Journal of Stored Products Research***44**: 173–178.

DERMECHE, S., NADOUR, M., LARROCHE, C., MOULTI-MATI, F. & MICHAUD, P. 2013. Olive mill wastes: biochemical characterisations and valorisation strategies. *Process Biochemistry***48**:1532–1552.

DEY, D. & SARUP, P. 1993. Feasibility of protecting maize varieties with oils to save losses in storage due to *Sitophilus oryzae* (Linn.). *Journal of Entomological Research***17**: 1–15.

- 445 DONAHAYE, E.J. 2000. Current status of non-residual control methods against stored
446 product pests. *Crop Protection***19**: 571–576.
- 447 DON-PEDRO, K.N. 1989. Mechanism of action of some vegetable oils against *Sitophilus*
448 *zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on wheat. *Journal of Stored*
449 *Products Research***25**: 217–223.
- 450 EEC. 2001.No. 1513/2001 of 23 July 2001 amending Regulations No. 136/66/EEC and EC
451 No. 1638/98 as regards the extension of the period of validity of the aid scheme and
452 the quality strategy for olive oil. *Official Journal of the European Communities***L201**:
453 4–7.
- 454 FINNEY, D.J. 1971. *Probit Analysis*. 3rd edition. Cambridge University Press, London,
455 U.K.333 pp.
- 456 FOSCOLOU, A., CRITSELIS, E. & PANAGIOTAKOS, D. 2018. Olive oil consumption and
457 human health: A narrative review. *Maturitas***118**: 60–66.
- 458 GOMES, T. &CAPONIO, F. 1997.Evaluation of the state of oxidation of crude olive-pomace
459 oils. Influence of olive-pomace drying and oil extraction with solvent. *Journal of*
460 *Agriculture and Food Chemistry***45(4)**: 1381–1384.
- 461 GOMES, T. & CAPONIO, F. 1998.Evaluation of the state of oxidation of olive-pomace oils:
462 influence of the refining process. *Journal of Agriculture and Food*
463 *Chemistry***46(3)**:1137–1142.
- 464 GOSSEN, B.D. & MCDONALD, M.R. 2019. New technologies could enhance natural
465 biological control and disease management and reduce reliance on synthetic
466 pesticides. *Canadian Journal of Plant Pathology* **42**: 30–40.
- 467 GOURGOUTA, M., RUMBOS, C.I. & ATHANASSIOU, C.G. 2019. Residual efficacy of a
468 commercial formulation on grains against four major storage beetles. *Journal of*
469 *Stored Products Research***83**: 103–109.

470 GUETTAL, S., TINE, S., HAMADIA, K., TINE-DJEBBAR, F. & SOLTANI, N. 2020 a.
 471 Effect of *Citrus limonum* essential oil against granary weevil, *Sitophilus granarius* and
 472 its chemical composition, biological activities and energy reserves. *International*
 473 *Journal of Tropical Insect Science*, <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00353-y>.
 474 GUETTAL S., TINE S., TINE-DJEBBAR F. & SOLTANI N., 2020 b. Evaluation of
 475 *Citrus limonum*(Sapindales: Rutaceae) L. essential oil as protectant against the granary
 476 weevil, *Sitophilus granarius*(L.) (Coleoptera: Curculionidae). *Allelopathy Journal*
 477 **51**(1):79-92. <https://doi.org/10.26651/allelo.j/2020-51-1-1292>
 478 HILL D.S. 1990.*Pests of Stored Products and their Control*. Belhaven Press, London, U.K.
 479 855 pp.
 480 IOC. 2011. Guide for the determination of the characteristics of oil-olives. COI/OH/Doc. No:
 481 1. COI/OH/ Doc. n°1, November 2011. IOC, Madrid, Spain. 34 pp.
 482 ISMAN, M.B. 2006. Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture
 483 and an increasingly regulated world. *Annual Review of Entomology***51**: 45–66.
 484 IVBIJARO, M.F., LIGAN, C. & YOUDEOWEI, A. 1985. Control of rice weevils, *Sitophilus*
 485 *oryzae* (L.) in stored maize with vegetable oils. *Agriculture, Ecosystem and*
 486 *Environment***14**: 237–242.
 487 JILU, V.S., BORAD, P.K. & PATEL, R.D. 2018.Evaluation of vegetable oils as grain
 488 protectants against *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) on maize under storage
 489 condition. *Journal of Entomology and Zoology Studies***6**(3): 821–824.
 490 KELLOUCHE, A. & SOLTANI, N. 2004. Activité biologique de cinq plantes et de l'huile
 491 essentielle de l'une d'entre elles sur *Callosobruchus maculatus* (F.). *International*
 492 *Journal of Tropical Insect Science***24**: 184–191.

- 493 KELLOUCHE, A., SOLTANI, N., KREITER, S., AUGER, J., ARNOLD, I. & KREITER, P.
 494 2004. Biological activity of four vegetable oils on *Callosobruchus maculatus*
 495 (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae). *Redia***LXXXVII**: 39–47.
- 496 KERBEL, S., AZZI, H. , ABDELLI, I., DEBRAS, J.F. & KELLOUCHE, A. 2021. Fatty acid
 497 composition and biological activity of four olive oils from Kabylia (Algeria) against
 498 *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) infesting stored wheat seeds. *Studia*
 499 *Universitatis Babeş – Bolyai, Biologia* **66**: 1, 2021.
- 500
- 501 KHALEQUZZAMAN, M., MAHDI, S.H.A. & GONI, O.S.H.M. 2007. Efficacy of edible oils
 502 in the control of pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* L. in stored pigeonpea.
 503 *University Journal of Zoology, Rajshahi University***26**: 89–92.
- 504 KHALIQUE, F., AHMED, K., AFZAL, M., MALIK, B.A. & RIAZ, M. 1988. Protection on
 505 stored chickpea, *Cicer arietinum* L. from attack of *Callosobruchus chinensis* L.
 506 (Coleoptera: Bruchidae). *Tropical Pest Management***34**: 333–334.
- 507 KHARE, B.P.& JOHARI, R.K. 1984. Influence of phenotypic characters of *chickpea*
 508 (*Cicer arietinum*L.) cultivars on their susceptibility to *Callosobruchus chinensis* (L.).
 509 *Legume Research***7**: 54–56.
- 510 KHER, R.H. 2006. Evaluation of vegetable oil and insecticides as grain protectants and
 511 varieties for susceptibility against *Rhyzopertha dominica* (F.) infesting wheat under
 512 storage condition. Ph.D.thesis, Department of Entomology, BA College of
 513 Agriculture, and Agricultural University, Anand, India. 192 pp.
- 514 KMIECIAK, S., MEZIANE, S., KADI, H. & MOUSSAOUI, R.1991. Oil extraction from
 515 olive foot cake with acidic hexane. *Grasas y Aceites***42**(1): 46–50.

516 KUMAR, R. & OKONRONKWO, N.O. 1991. Effectiveness of plant oils against some
 517 Bostrychidae infesting cereals in storage. *International Journal of Tropical Insect*
 518 *Science***12**: 77–85.

519 KUMAR, D. & KALITA, P. 2017. Reducing postharvest losses during storage of grain crops
 520 to strengthen food security in developing countries. *Foods***6**(1): 8.

521 LAKHDARI, H. & AYAD, A. 2009. Les conséquences du changement climatique sur le
 522 développement de l'agriculture en Algérie: Quelles stratégies d'adaptation face à la
 523 rareté de l'eau?. In: 5ème Colloque International: *Énergie, Changements Climatiques*
 524 *et Développement Durable*. 15–17. Hammamet, Tunisie.

525 LAW-OGBOMO, K.E. & EGHAREVBA, R.K.A. 2006. The use of vegetable oils in the
 526 control of *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) in three cowpea
 527 varieties. *Asian Journal of Plant Sciences***5**: 547–552.

528 LIENARD, V., SECK, D., LOGNAY, G., GASPAR, C. & SEVERIN, M. 1993. Biological
 529 activity of *Cassia occidentalis* L. against (Coleoptera: Bruchidae) (F.). *Journal of*
 530 *Stored Products Research***29**: 311–318.

531 MACHEKANO, H., MVUMI, B.M., CHINWADA, P., KAGELER, S.J. & RWAFA, R.
 532 2019. Evaluation of alternatives to synthetic pesticides under small-scale farmer-
 533 managed grain storage conditions. *Crop Protection***126**: 104941.
 534 <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104941>

535 MASON, L.J. & MCDONOUGH, M. 2012. Biology, behavior, and ecology of stored grain
 536 and legume insects. In: Hagstrum, D.W., Phillips, T.W. & Cuperus, G. (Eds) *Stored*
 537 *Product Protection*. 7–20. Kansas State University, Manhattan, K.S., U.S.A.

538 MATEOS, R., SARRIA, B. & BRAVO, L. 2019. Nutritional and other health properties of
 539 olive pomace oil. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition***1**–16.
 540 <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1698005>

- 541 MCGAUGHEY, W.H., SPEIRS, R.D. & MARTIN, C.R. 1990. Susceptibility of classes of
542 wheat grown in the United States to stored-grain insects. *Journal of Economic*
543 *Entomology***83**: 1122–1127.
- 544 MEZIANE, S. & KADI, H. 2008. Kinetics and thermodynamics of oil extraction from olive
545 cake. *Journal of the American Oil Chemists Society***85(4)**: 391–396.
- 546 MEZIANE, S. 2013. Optimisation of oil extraction from olive pomace using response 487
547 surface methodology. *Food Science and Technology International***19**: 315–322.
- 548 MIDEGA, C.A.O., MURAGE, A.W., PITCHAR, J.O. & KHAN, Z.R. 2016. Managing
549 storage pests of maize: Farmers' knowledge, perceptions and practices in western
550 Kenya. *Crop Protect* **90**: 142–149.
- 551 NUNES M.A, PAWLOWSKI, S., COSTA, A.S.G., ALVES, R.C., OLIVEIRA, M.B.P.P. &
552 VELIZAROV, S. 2019. Valorisation of olive pomace by a green integrated approach
553 applying sustainable extraction and membrane-assisted concentration. *Science of*
554 *the Total Environment***652**:40–47.
- 555 NIKPAY,A. 2006. Efficacy of chamomile, sweet almond and coconut oils as post-harvest
556 grain protectants of stored wheat against *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera:
557 Bostrychidae). *Journal of Stored Products Research***9(4)**: 369–373.
- 558 OBENG-OFORI, D. 1995. Plant oils as grain protectants against infestations of *Cryptolestes*
559 *pusillus* and *Rhyzopertha dominica* in stored grain. *Entomologia Experimentalis et*
560 *Applicata***77(2)**: 133–139.
- 561 OBENG-OFORI, D. 2011.Protecting grain from insect pest infestations in Africa: producer
562 perceptions and practices.*Stewart Postharvest Reviews***7(3)**: 1–15.

OBENG-OFORI, D. & AMITEYE, S. 2005. Efficacy of mixing vegetable oils mixed with
 pirimiphos-methyl against *Sitophilus zeamais* Motschulsky in stored maize. *Journal of
 Stored Products Research* **41**: 77–88.

OBENG-OFORI, D. & REICHMUTH, C.H. 1999. Plant oils as potentiation agents of
 monoterpenes for protection of stored grains against damage by stored product beetle
 pests. *International Journal of Pest Management* **45**: 155–159.

PACHECO, I.A., DECASTRO, M.F.P.P.M., DE PAULA, D.C., LOURENZAO, A.L.,
 BOLONHEZI, S. & BARBIERI, M.K. 1995. Efficacy of soybean and castor oils in
 control of *Callosobruchus maculatus* (F.) and *Callosobruchus phaseoli* (Gyllenhal) in
 stored chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Stored Products Research* **31**: 221–
 228.

PALOUKAS, Y.Z., AGRAFIOTI, P., RUMBOS, C.I., SCHAFFERT, S., STERZ, T.,
 BOZOGLU, C. & ATHANASSIOU, C.G. 2020. Evaluation of Carifend® for the
 control of stored-product beetles. *Journal of Stored Products Research* **85**: 101534.

PHILLIPS, T.W. & THRONE, J.E. 2010. Biorational approaches to managing stored product
 insects. *Annual Review of Entomology* **55**: 375–397.

RAHMAN, A. & TALUKDER, F.A. 2006. Bioefficacy of some plant derivatives that protect
 grain against pulse beetle, *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Insect Science* **6**: 10–
 25.

RAMZAN, M. 1994. Efficacy of edible oils against pulse beetle, *Callosobruchus maculatus*.
Journal of Insect Science **7**(1): 37–39.

RAVINDRAN, R. & JAISWAL, A.K. 2016. Exploitation of food industry waste for high-
 value products. *Trends in Biotechnology* **34**(1): 58–69.

- 586 RIBEIRO, T.B., OLIVEIRA, A., COELHO, M., VEIGA, M., COSTA, E.M., SILVA, S.
587 &PINTADO, M. Are olive pomace powders a safe source of bioactives and nutrients?
588 *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10812>.
- 589 SAROJ, A., ORIYOMI, O.V., NAYAK, A.K., HAIDER, S.Z. 2020. Phytochemicals of plant-
590 derived essential oils: A novel green approach against pests. *Natural Remedies for*
591 *Pest, Disease and Weed Control***6**:65–79
- 592 SHAAYA, E., KOSTJUKOVSKI, M., EILBERG, J. & SUKPRAKARU, C. 1997. Plant oils
593 as fumigants and contact insecticides for the control of stored product insects. *Journal*
594 *of Stored Products Research***33**: 7–15.
- 595 SIGHAMONY, S., ANEES, I., CHANDRAKALA, T. & OSMANI, Z. 1986. Efficacy of
596 certain indigenous plant products as grain protectants against *Sitophilus oryzae* (L.)
597 and *Rhyzopertha dominica* (F.). *Journal of Stored Products Research***22**: 21–23.
- 598 TEMBO, E. & MURFITT, R.F.A. 1995. Effect of combining vegetable oil with pirimiphos-
599 methyl for protection of stored wheat against *Sitophilus granarius* (L.). *Journal of*
600 *Stored Products Research***31(1)**: 77–81.
- 601 TOUCHAN, R., KHERCHOUCHE, D., OUDJEHIH, B., TOUCHAN, H., SLIMANI, S. & M
602 MECO, D. 2016. Dendroclimatology and wheat production in Algeria. *Journal of Arid*
603 *Environments***124**: 102–110.
- 604 TUFAIL, A., ADUGNA, H., ANDE, E., ROBEL, E., SELAM, H. & SELAM, T. 2015. Eco-
605 friendly approaches for management of bruchid beetle *Callosobruchus chinensis*
606 (Coleoptera: Bruchidae) infesting faba bean and cowpea under laboratory conditions.
607 *Journal of Stored Products and Postharvest Research***6(3)**:25–29.
- 608 UDO, I.O. & HARRY, G.I. 2013. Effect of groundnut oil in protecting stored cowpea (*Vigna*
609 *unguiculata*) from attack by cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus*). *Journal of*
610 *Biology and Agriculture Health Care***3(1)**:89–92.

- WAHEDI, J.A., ZAKARIYA, R., DANBA, E.P., DAVID, D.L., MSHELMBULA, B.P.,
BUBA, U., BARAU, B.W., DAUDA, U.D. & BELLO, H. 2015. Ethnobotanical
studies of the efficacy of five oils at graded levels on adult *Callosobruchus maculatus*
reared on cowpea. *International Journal of Research and Review* **2**(8):481–486.
- WALE, M. & ASSEGIE, H. 2015. Efficacy of castor bean oil (*Ricinus communis* L.) against
maize weevils (*Sitophilus zeamais* Mots.) in northwestern Ethiopia. *Journal of Stored
Products Research* **63**: 38–41.
- WEAVER, D.K. & SUBRAMANYAM, B.H. 2000. Botanicals. In: Subramanyam, B.H. &
Hagstrum, D.W. (Eds) *Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM*. 303–320.
Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- YANIK, D.K. 2017. Alternative to traditional olive pomace oil extraction systems:
Microwave-assisted solvent extraction of oil from wet olive pomace. *LWT – Food
Science and Technology* **7**:45–51.
- YANGUI, T., BOUAZIZ, M., DHOUIB, A. & SAYADI, S. 2009. Potential use of Tunisian
Pituranthos chloranthus essential oil as a natural disinfectant. *Letters in Applied
Microbiology* **48**: 112–117.
- YUYA, A.I., TADESSE, A. & TEFERA, T. 2009. Efficacy of combining Niger seed oil with
malathion 5% dust formulation on maize against the *Sitophilus zeamais* (Coleoptera:
Curculionidae). *Journal of Stored Products Research* **45**: 67–70.

Table 1. Characteristics of the olive pomace tested^a (Mean± SD)

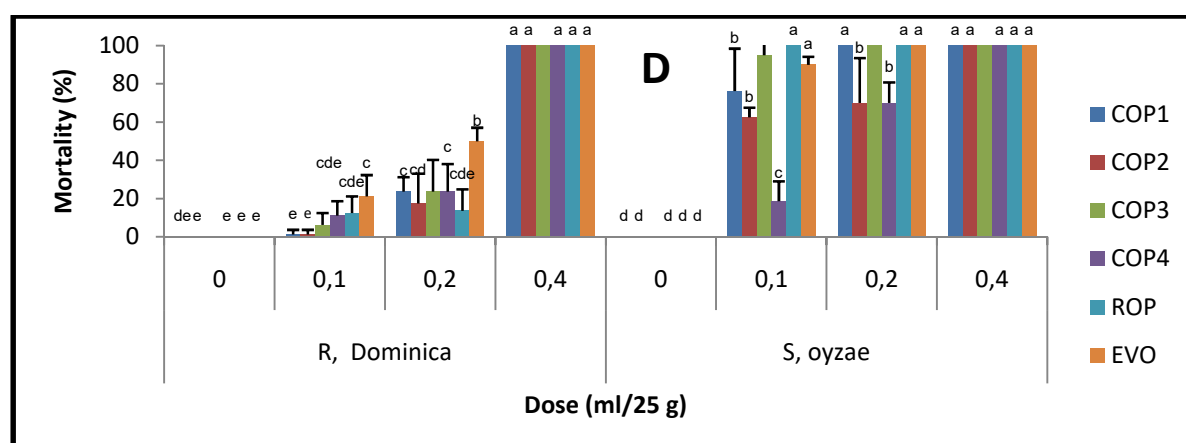
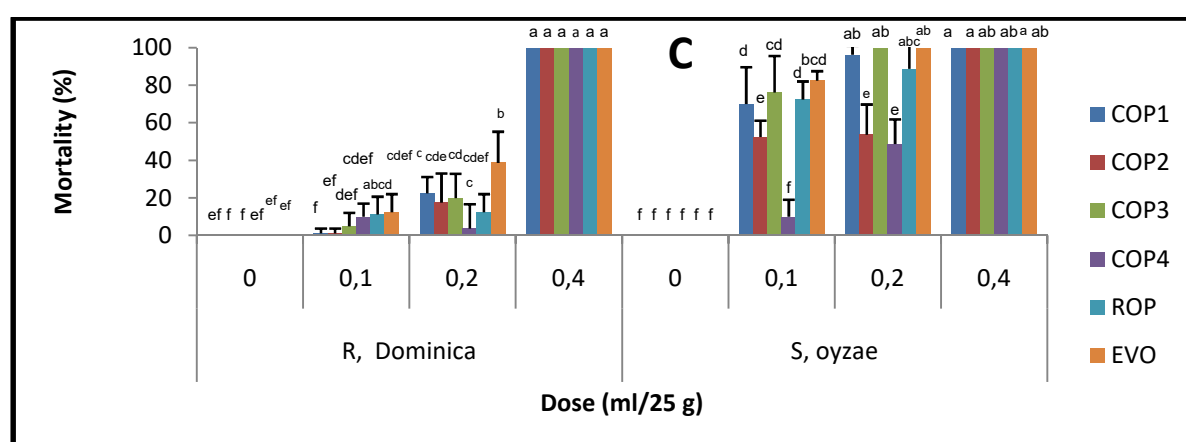
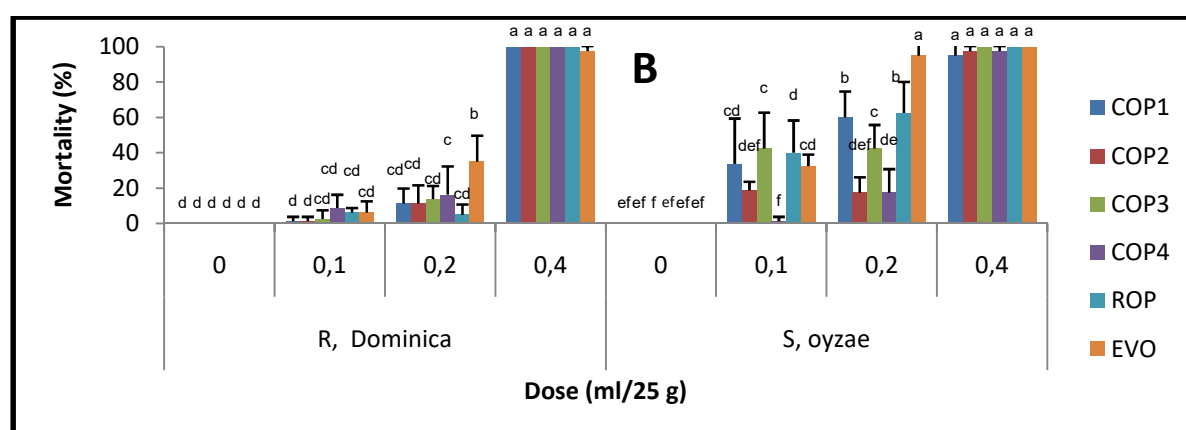
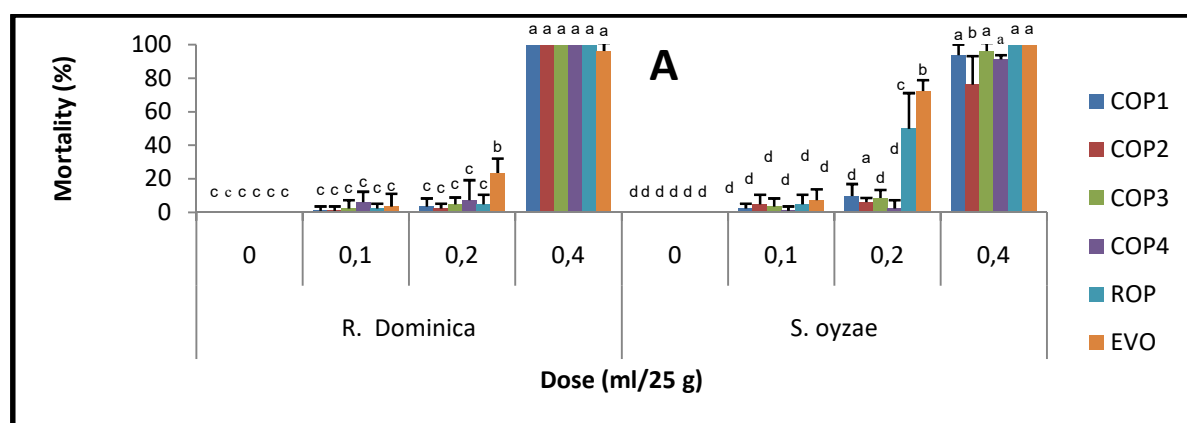
Origin of the olive pomace	Initial moisture (%)	Moisture after drying (%)	Oil yield (%)
Tadmaït	51.32±1.03	6.38±0.56	7.42±0.90 (a)
Maatkas	46.63±1.04	6.46±0.39	5.45±0.66 (b)
M'Chedellah	43.97±0.49	7.25±0.08	5.89±0.85 (b)
Bechloul	40.00±0.78	7.77±0.10	5.53±0.87 (b)

^a Each value is the mean ± SD of three determinations* $P < 0.001$ **Table 2.** Anderson-Darling normality test

Variable	P-value
Adult mortality	< 2.2e-16
Emerged adults	< 2.2e-16
Grains weight loss	< 2.2e-16
Seeds germination	1.287e-06

Table 4. Contact toxicity (LD₅₀ median) of the six oils against adults of *S. oryzae* and *R. dominica* infesting durum and soft wheat seeds after 72 h of exposure.

Insect species	Substrate	COP1	COP2	COP3	COP4	ROP	EVO
		LD ₅₀ median (ml/25 g)					
<i>S. oryzae</i>	Durum wheat	0.076	0.12	0.038	0.180	0.059	0.025
	Soft wheat	0.084	0.122	0.178	0.224	0.079	0.005
<i>R. dominica</i>	Durum wheat	0.22	0.227	0.211	0.198	0.210	0.183
	Soft wheat	0.17	0.217	0.222	0.247	0.203	0.189



□

Fig. 1. Percentage cumulative mortality (%±SE) of *R. dominica* and *S. oryzae* adults exposed for 24h(A), 48h(B), 72h (C) and 96h(D) on durum wheat grains treated with the six oils, at three doses (Bars with the same letter are not significantly different; Dunn test at $P = 0.05$)

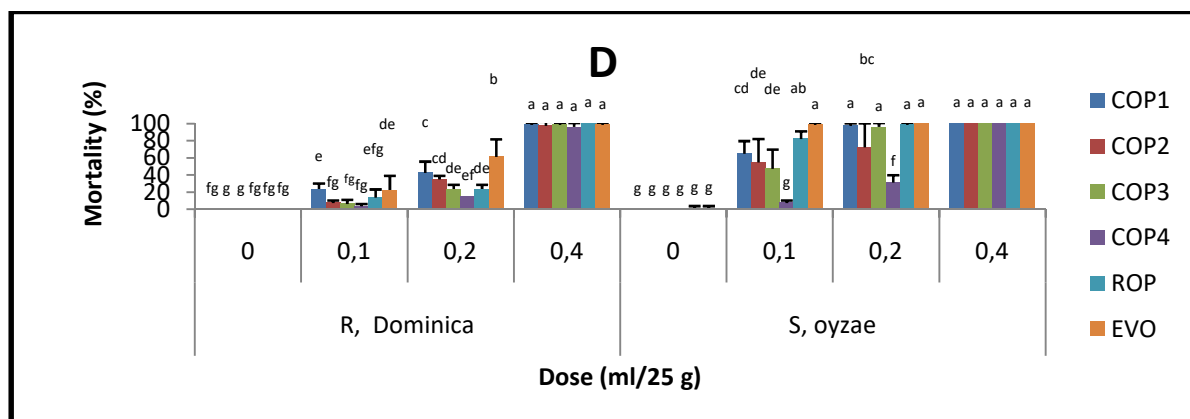
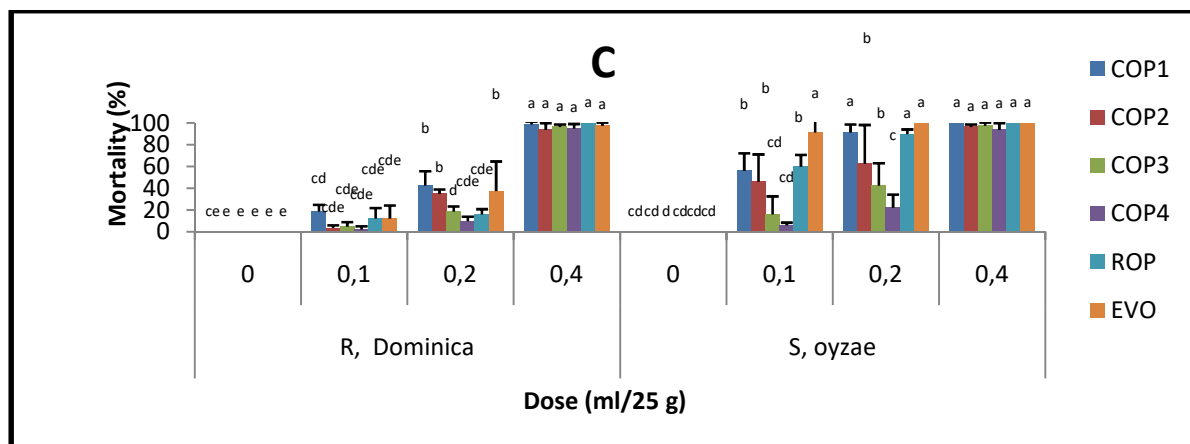
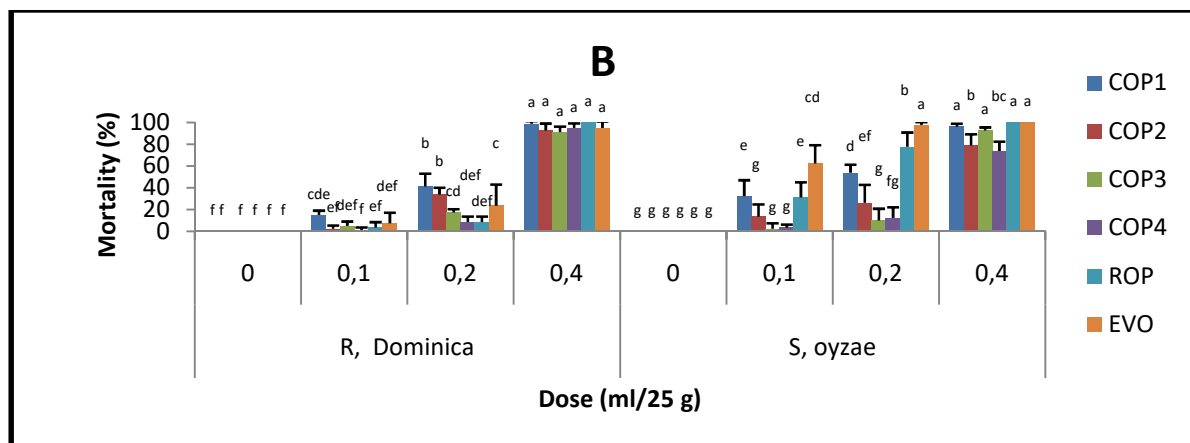
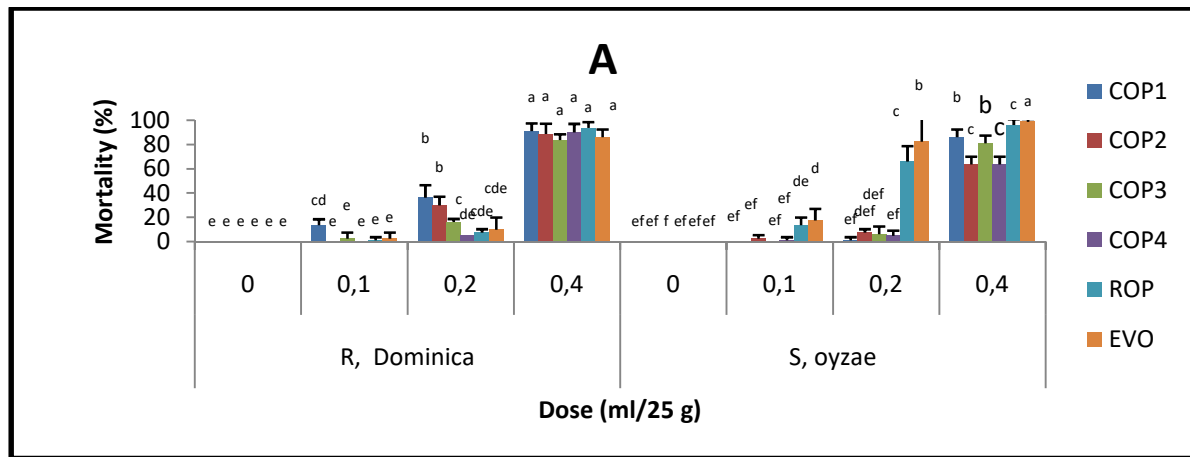


Fig. 2. Percentage cumulative mortality (%±SE) of *R. dominica* and *S. oyzae* adults exposed for 24h(A) , 48h(B), 72h (C) and 96h(D) on soft wheat grains treated with the six oils, at three doses (Bars with the same letter are not significantly different; Dunn test at $P = 0.05$)

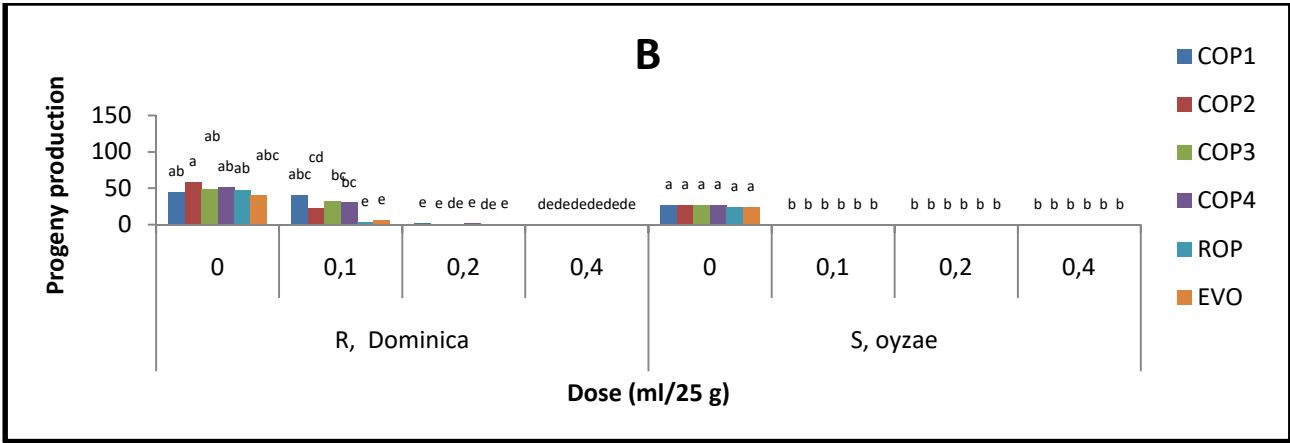
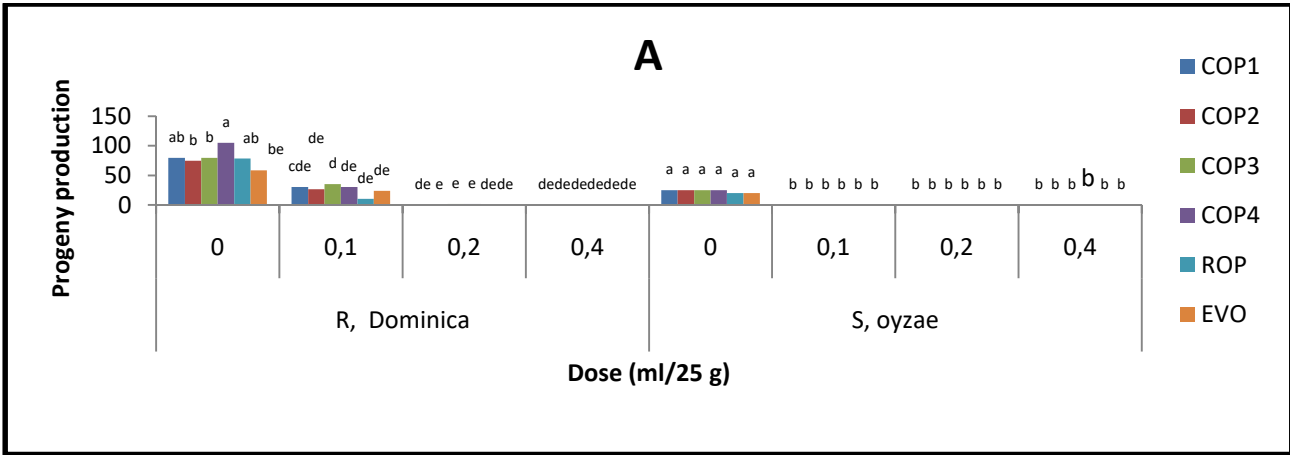
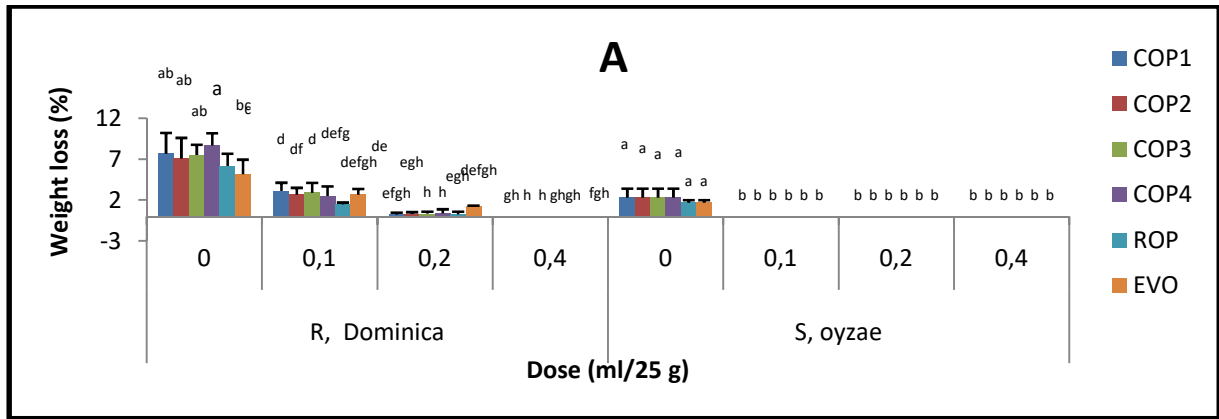
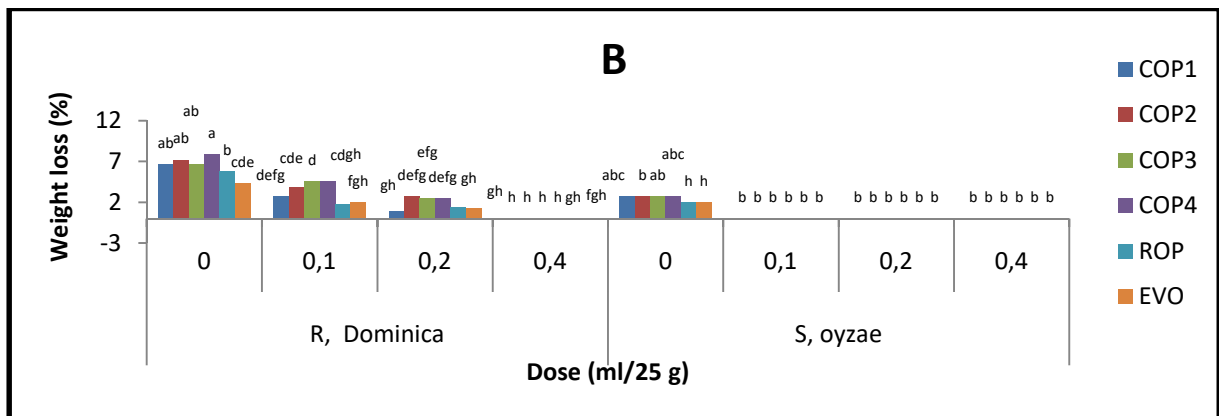


Fig.3. Mean progeny production (number of individuals/dish $\pm$ SE) on durum (A) and soft (B)wheat treated with the six oils at three doses, for each species (Bars with the same letter are not significantly different; Dunn test at $P = 0.05$)

695



695



696

Fig. 4. Percentage weight loss (%±SD) on durum(A) and soft (B) wheat seeds treated with the six oils at three doses, for each species (Bars with the same letter are not significantly different; Dunn test at $P = 0.05$).)

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

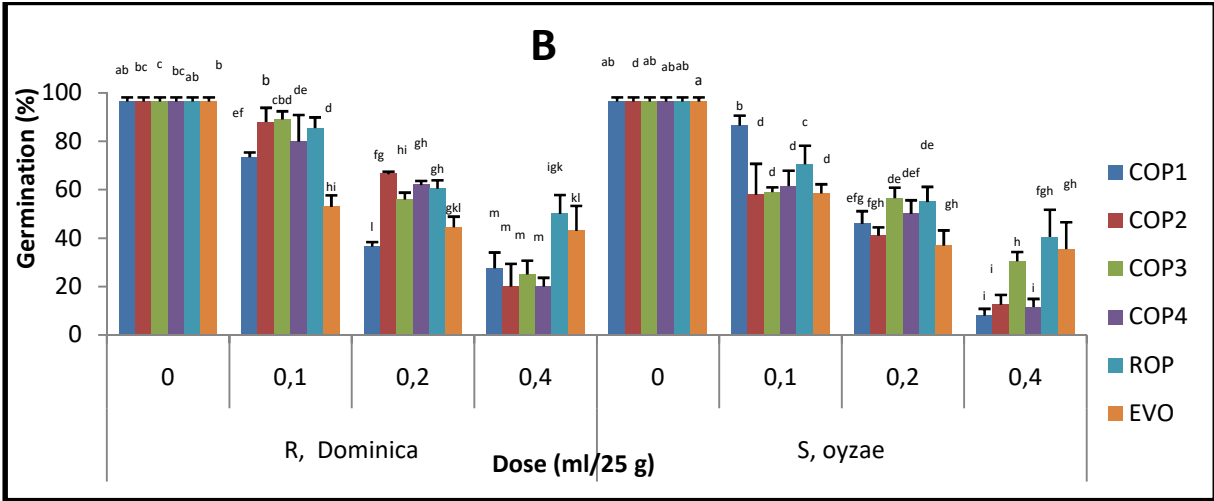
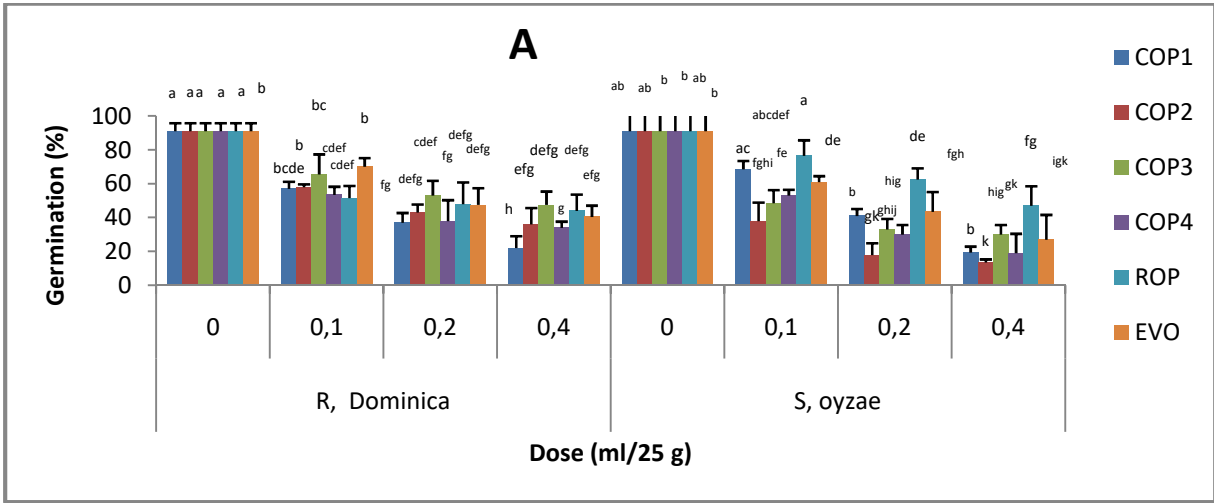


Fig.5. Percentage germination (%±SD) of durum(A) and soft (B) wheat seeds, treated with the six oils at different rates and infested by the two insect pests (Bars with the same letter are not significantly different; Dunn test at $P = 0.05$)

723 **Supplementary material**

724 **Image abstract**



726 **Olive pomace**



729 **Olea europaea**

Crude olive pomace oils

Refined olive pomace oil

Extra-virgin olive oil

Contact

Tests

Sitophilus oryzae

Rhyzopertha dominica

Substrates

Durum wheat

Soft wheat



-Insecticidal activity

- The highest dose (0.4ml/25g) causes $\geq 63.75\%$ mortality,, after 24h of exposure
- Olive oil was generally more toxic than crude and refined pomace oils
- The most sensitive insect was *S. oryzae* for most vegetable oils tested

-Ovicidal and larvicidal Properties.

-Antifedant effect

FATTY ACID COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF FOUR OLIVE OILS FROM KABYLIA (ALGERIA) AGAINST *RHYZOPERTHA DOMINICA* (COLEOPTERA: BOSTRYCHIDAE) INFESTING WHEAT SEEDS

Safia Kerbel¹, Ines Abdelli¹, Hakim Azzi², Jean-Francois Debras³
and Abdellah Kellouche¹✉

¹*Laboratoire de production et de sauvegarde des espèces menacées et des récoltes. Influence des variations climatiques. Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou 15000, Algeria;* ²*Laboratoire des Ressources Naturelles, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques, UMMTO, Algeria;* ³*Unité Plantes et Systèmes de Cultures Horticoles, INRA, Domaine Saint-Paul, 84914 Avignon, France ; Corresponding author: Abdellah Kellouche; E-mail: kader.kellouche@yahoo.fr*

Article history: Received 6 February 2021; Revised 7 May 2021; Accepted 18 May 2021; Available online 30 June 2021

Abstract. The use of conventional insecticides is one of the most widely used methods of controlling pests of stored grains. But the presence of toxic residues in treated commodities and the emergence of insect resistant strains are becoming a growing concern. Olive oil is well known throughout the world for its benefits to human health, but little known for its biological activity against insect pests.

The aim of this work is to study the fatty acid composition and the insecticidal activity of oils according to origin of plantation, against one of the main insect pests of stored grain *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). The olive oils were obtained using an oleodoser from olives of the 'Chemlal' variety harvested in 4 olive groves in Kabylia (Algeria) and the analysis of the fatty acid composition was carried out by gas chromatography. The main fatty acids found are oleic, palmitic and linoleic acids. Biological tests conducted under laboratory conditions, at a temperature of 30±1°C and a relative humidity of 70 ± 5 %, revealed that the 4 olive oils, applied on soft wheat grains, showed a contact toxicity against *R. dominica*. The toxicity of the oils varied as a function of the dose and the duration of treatments. After 24 h of exposure, all oils tested at the highest dose (0.4 mL/25 g) were found to be highly toxic to adults of *R. dominica*, with mortality rates ranging from 72.5 to 95 %. The toxicity of the 4 oils based on the LD₅₀ (mL/25 g) values for 24 h mortality is established as

follows: Maatkas (0.213), Bachloul (0.232), Tadmait (0.234) and M'Chedellah (0.263).

The number of the F1 offspring decreases as the dose of oil is increased to reach zero with the highest dose, for all treatments. All oils tested completely preserve soft wheat seeds from *R. dominica* attacks using the same highest dose. On the other hand, results also revealed that treatments with olive oil affect the germination capacity of soft wheat seeds.

Keywords: wheat grains, insect pest, *Rhyzopertha dominica*, olive oil, fatty acids, toxicity, damage.

Introduction

Cereals occupy a fundamental place in Algerian agriculture, with a surface area of 2.7 million hectares, i.e. nearly 40% of the country's overall agricultural area, and 3.3 million tons in 2014 (FAO, 2015). They also constitute a major part of the human diet worldwide (Chen and Dubcovsky, 2012; Merouche *et al.*, 2014).

Soft wheat (*Triticum aestivum* L.) is an important food crop worldwide due to its nutritional value (FAO, 2019; Valenzuela-Aragon *et al.*, 2019). In Algeria, it ranks third in terms of production after durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and barley (*Hordeum vulgare* L.), with an annual cultivated area of 0.8 million hectares, representing 24.2 % of the area devoted to cereals country-wide (Bellatreche *et al.*, 2019; Kara *et al.*, 2020; Meziani *et al.*, 2020).

The conservation of these products is the only way to ensure the link between the year's harvest and continuous consumption. During storage, various biotic and abiotic factors depreciate it qualitatively and quantitatively, the most important being insect pests (Arve *et al.*, 2014; Hamdi *et al.*, 2015; Abdelli *et al.*, 2016; Aoueset *et al.*, 2017; Brahmiet *et al.*, 2017; Djidel *et al.*, 2018). According to the assessment of Algerian Inter-Professional Office of Cereals (AIOC), losses that can exceed 35 % have been recorded in recent years (Ahmed, 2016).

Among the pests of wheat grains during storage, *Rhyzopertha dominica*, is a serious pest of stored grain worldwide, due to the quantitative and qualitative losses that it causes (Bashir, 2002; Hagstrum and Flinn, 2014; Filomeno *et al.*, 2020). It is considered a highly destructive pest of wheat, sarrasin rice, maize, sorghum, barley, rye, millet, etc. (Aitken, 1975; Mason and McDonough, 2012; Eydozehi and Ravan, 2013; Kakde *et al.*, 2014; Ridley *et al.*, 2016). As a primary colonizer, *R. dominica* larvae and adults can infest sound kernels (Hill, 2002; Batta *et al.*, 2007); they spend most of their life inside the kernel, feeding on both the germ and endosperm, directly causing damage and changes the physical and chemical properties of the grain. The adult is responsible for losses that are estimated to be eight times greater than those

caused by the larvae (Toews *et al.*, 2000; Huchet, 2017). The infestation of stocks by *R. dominica* causes weight loss (Park *et al.*, 2008; Hendrival *et al.*, 2019; Arthur *et al.*, 2020), a decrease in essential amino acids (Jood *et al.*, 1995; Edde, 2012 ; Boukouvala *et al.*, 2020), a decrease in the germination capacity of grains used as seed and a reduction in plant vigor at emergence (Limonta *et al.*, 2011; Saad *et al.*, 2018; Waongoet *et al.*, 2018). Grains infested by *R. dominica* are then vulnerable to attack by secondary pests and moulds (Srivastava and Subramanian, 2016; Win and Rolania, 2020).

Control measures are currently based on the application of chemicals because of their effectiveness and low cost (Boyer *et al.*, 2012; Kumar and Kalita, 2017). Nevertheless, the use of conventional insecticides has caused adverse effects on the agro-ecosystem such as the development of insect resistance, resurgence of secondary pests and environmental contamination, affecting target pests, domestic animals and human health (Mau *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2017; Collins and Schlipalius, 2018; Daglish and Nayak, 2018; Morrison *et al.*, 2019; Nayak *et al.*, 2020).

These drawbacks have highlighted the need for sustainable alternatives that are available, affordable, less toxic to mammals and less detrimental to the environment and plants such as botanicals (Kellouche and Soltani, 2004; Kellouche *et al.*, 2010; Hamdi *et al.*, 2015; García-Lara and Serna-Saldivar, 2016; Lougraimzi *et al.*, 2018; Righi *et al.*, 2018; Ekoja and Ogah, 2020; Nia *et al.*, 2020).

Recently, there has been an increasing interest in the use of natural oils, including vegetable, essential and mineral oils (Obeng-Ofori and Amiteye, 2005; Lal and Raj, 2012; Rayhan *et al.*, 2014; Rolania and Bhargava, 2015; Singh *et al.*, 2016; Baccari *et al.*, 2020; Chenni *et al.*, 2020; Ebrahimifar *et al.*, 2020; Haouel-Hamdi *et al.*, 2020; Yakhlef *et al.*, 2020).

Among vegetable oils, olive oil, due to its high oleic acid content, detected as an insecticidal component, could be used as a biopesticide in insect pest management (Abdallah *et al.*, 2001; Kellouche *et al.*, 2004; Uddin and Sanusi, 2013; Ekoja and Ogah, 2020; Zohry *et al.*, 2020).

The aim of the present work was to study the efficacy of four olive oils extracted from olives collected from four localities in Kabylia (Algeria), against *R. dominica*. The importance of this research resides in the development of a natural method of sustainable conservation that can be used locally to protect cereal seeds, which are strategic products in Algeria.

Materials and methods

Plant material and oil extraction

The extra virgin olive oils used in this work came from Chemlal, the main Algerian olive variety, at the same stage of maturity (maturity index = 3), in the 2016/2017 crop season (November). Four representative regions of olive oil production in Algeria were selected to obtain the EVOO samples Tadmaït (3. 98778 36° 36' 44" North, 3° 59' 16" East), Maatkas (3.90186 36° 44' 34" North, 3° 54' 7" East), M'Chedellah (4.24858 36° 23' 50" North, 4° 14' 55" East) and Bechloul (4.06667 36° 19' 0" North, 4° 4' 0" East). The olive fruits were randomly and manually picked from all parts of the selected fully grown olive trees (COI, 2011). The olive maturity index (MI) was determined according to the method developed by the agricultural station in Jaén (Uceda and Hermoso, 1998), on the basis of the evaluation of the olive skin and pulp colors. MI values range from 0 (100% intense green skin) to 7 (100% purple flesh and black skin).

Olive oil samples were obtained using a laboratory-scale oil mill (S.I.O.L. 20240 GHISONACCIA, France), consisting of three basic elements: a hammer crusher, a thermo-beater (mixer) and a pulp centrifuge. Olives were first crushed and the resulting paste was slowly mixed for 30 min at 25 °C. Olive oil was obtained after the centrifugation of the paste at 3000 rpm for 3 min (Bengana *et al.*, 2013).

The oil was separated by decanting, classified according to the origin of the olives; 001 (Tadmaït), 002 (Maatkas), 003 (M'Chedellah), 004 (Bechloul), and stored at 4 °C in darkness using amber glass bottles without headspace prior to use.

Fatty acid analysis

The analytical methods for the determination of fatty acid composition were described in regulation EEC 2568/91 (EEC, 1991). Fatty acids were converted to fatty acid methyl esters before analysis by vigorous shaking of a solution of oil in hexane (0.2 g in 3 mL) with 0.4 mL of 2 N methanolic potassium hydroxide and analyzed by a GC Chrompack CP 9002 (Les Ulis, France) equipped with a FID detector, an split-splitless injector and a DB23 (50% cyanopropyl) capillary column (30 mx 0.32 mL, 0.25 µm film; Agilent Technologies, Palo Alto, California, USA). The carrier gas was nitrogen (Linear velocity, 0.5 cm/min; split ratio of 1:30, v/v). The temperatures of the injector, detector and the oven were set at 250 °C, 280 °C and 200 °C, respectively. The injection volume was 0.8 µL (EEC, 1991). One replicate was prepared and analyzed per sample.

Insects rearing

The mass breeding of *R. dominica* was conducted in the laboratory, in a dark oven at 30±1°C and 70±5% relative humidity, on soft wheat (*Triticum*

aestivum). The strain of *R. dominica* comes from the storage commodities of CCLS Tizi-Ouzou (Cooperative of Cereals and Dried vegetables). The same conditions of temperature and humidity were chosen to perform our experiments.

Bioassays

Soft wheat seeds of local origin, free of infestation and pesticides, were used for the biotests. Each olive oil extracted was mixed with soft wheat seeds in glass Petri dishes (13 cm diameter and 3 cm height), at three doses: 0.1, 0.2 and 0.4 mL/25 g. All trials were repeated four times for each dose and control. These Petri dishes were shaken manually for 15 min to achieve an equal distribution of the oils in the entire grain mass. Then, 20 unsexed adults <1 weeks old were introduced into each dish, which was immediately closed. Mortality was assessed 24, 48, 72 and 96 h after treatment application. Dead adults were removed and counted during each assessment. Dead insects from oil-treated grain showed signs of rapid immobilization, with their legs flexed and clinging to either the grain or the container surface. Since mean mortality in untreated control was less than 5 %, mortality data were not corrected for natural mortality (Abbott, 1925). LD₅₀ values were determined after 24 h of exposure by Probit analysis (Finney, 1971).

At the end of the tests, all the adults (dead and alive) were removed and the Petri dishes were kept in the oven under the same conditions for an additional period of 45 days to assess emergence of F1 progenies. On day 45, samples of treated or control grains were taken to evaluate weight loss and germination capacity.

The weight loss was obtained using the formula described by Tefera *et al.* (2011): **Percent weight loss = (Initial weight - Final weight) x 100**

In order to assess the viability of seeds, seed germination was tested using 50 randomly picked seeds from each Petri dish. The seeds were placed on moistened cotton in glass Petri dishes (13 cm in diameter and 3 cm in height) and incubated at room temperature (28-32°C) for 5 days (Kellouche *et al.*, 2004; Kumawat and Naga, 2013). The germination percentage was calculated as follows: **Germination (%) = (number of germinated seeds / total number of seeds) x 100.**

Statistical analysis

Data were expressed as mean values and standard deviations (SD) were calculated. All data were subjected to analysis of variance, using Stat Box Pro (version 6.40). Significant differences between means were determined using Newman-Keuls test at 5% probability.

Results

Fatty acid composition

The results obtained (Tab. 1) show that the fatty acid composition of the olive oils analyzed meets the standards set by Commission Regulation EEC/2568/91 of July 11, 1991 for the EVOO category. The major fatty acids present in Chemlal olive oil were oleic (C18:1), linoleic (C18:2), palmitic (C16:0) acids (Tab.1). Oleic acid (C18:1) is the main monounsaturated fatty acid and is present in higher concentrations (59.08–63.59 %). Palmitic acid content, the major saturated fatty acid in olive oil, varied between 17.66 and 18.81% according to the plantation zones. Concerning linoleic acid (C18:2), the highest percentage was observed in EVO2 (15.06%), whereas the lowest was found in EVO1 (12.51%). Chemlal olives also contained low amounts of linolenic acid (C18:3), arachidic acid (C20:0) and traces of palmitoleic acid (C16:1) (Tab.1). Our results are in agreement with those of previous research (Bengana *et al.*, 2013; Bakhouch *et al.*, 2015; Lainer *et al.*, 2016; Medjkouh *et al.*, 2016; Boudour-Benrachou *et al.*, 2017; Guissous *et al.*, 2018).

Table 1. Fatty acid composition (%) of the four oils (C16:0, palmitic acid; C16:1, palmitoleic acid; C17:0, heptadecanoic acid; C18:0, stearic acid; C18:1, oleic acid; C18:2, linoleic acid; C18:3, alpha linolenic acid; C20:0, Arachidic acid; C20:1, eicosenoic acid; C22:0, behenic acid; MUFA/PUFA, monounsaturated fatty acids/polyunsaturated fatty acids; UFA/SFA, unsaturated fatty acids/saturated fatty acids).

Fatty acid composition (%) Legal limits EEC/2568/91					
	EVO1	EVO2	EVO3	EVO4	
C16:0	17.8	18.81	17.97	17.66	7.5-20.0
C16 :1	2.32	3.13	2.26	2.26	0.3-3.5
C17:0	0.1	0.1	0.27	TR	
C18:0	1.88	2.19	2.12	2.58	0.5-5
C18 :1	63.59	59.08	62.28	60.39	55-83
C18 :2	12.51	15.06	13.68	14.81	3.5-21.0
C18 :3	0.68	0.38	0.52	0.51	≤1.0
C20:0	0.48	0.64	0.59	0.73	≤0.6
C20:1	0.44	0.27	0.27	0.27	≤0.4
C22:0	0.14	0.12	TR	TR	≤0.2
MUFA/PUFA	5.03	0.71	0.52	0.53	-
Oleic acid/ linoleic acid	5.08	3.92	4.55	4.08	-
UFA/SFA	3.89	2.25	/	/	-

Contact toxicity of olive oils against R. dominica

The results indicated that the four olive oils tested revealed contact toxicity as a function of the tested dose and the time of exposure. Variance analysis using 2 classification criteria shows that dose rate ($F= 9599.58$, $P= 0,000$) and origin of oil ($F= 11.68$, $P= 0,000$), as well as their interaction, act with a high degree of significance on the percentage of adult mortality.

In contact mortality assay after 24 h, 48, 72 and 96 h, the ascending concentrations of the four oils caused increased mortality of the beetles. After 24 h of exposure, all oils, at the highest dose (0.4 mL/25 g), are very toxic to *R. dominica*, the mortality rate ranging from 72.5 to 95%.

With the lowest dose (0.1 mL/25 g grains), all oils tested caused a low mortality rate ranging from 18.75 to 48.75%, even after 96 h of exposure (Fig.1A, B, C, D). The order of toxicity of the four oils, taking into account the LD_{50} (mL/25 g) calculated after 24 h of exposure, is as follows: 002 ($LD_{50} = 0.213$), 003 ($LD_{50} = 0.232$), 001 ($LD_{50} = 0.234$) and 004 ($LD_{50} = 0.263$).

F1 progeny emergence

The four oils significantly reduced the emergence of adults, compared to the control. Variance analysis shows a highly significant effect of the factor dose ($F= 1010.706$, $P= 0,000$) on the number of emerged F1 progeny. However, the oil origin and the interaction (dose x oil origin) are not significant ($F= 0.517$, $P= 0.676$; $F= 0.424$, $P= 0.915$, respectively).

The highest numbers of emergence are observed in the control lots, with an average number of 92.5 adults. Moreover, the number of offspring is inversely proportional to the dose used. In fact, this number decreases as the dose is increased and becomes zero at the highest dose (0.4 mL/25 g grains), in all treatments (Fig.2).

Grain weight loss

All of the oils tested very significantly reduced the weight loss percentage, compared to the control. Variance analysis revealed a significant influence, at the 5% level, of the treatment dose on grain weight loss ($F= 749.465$, $P= 0.000$); however, the factor oil origin and the interaction between the two factors are not significant ($F= 0.98$, $P= 0.411$; $F= 0.681$, $P= 0.723$, respectively).

According to the results obtained (Fig.3), we observe that *R. dominica* caused higher weight loss in the control lots (9.62 %). On the other hand, in lots treated with oils from different regions, a considerable reduction in grain weight loss rates is observed as the treatment dose increases. For all oils tested, treatment with the highest dose 0.4 mL/25 g completely preserves the soft wheat seeds from pest attack.

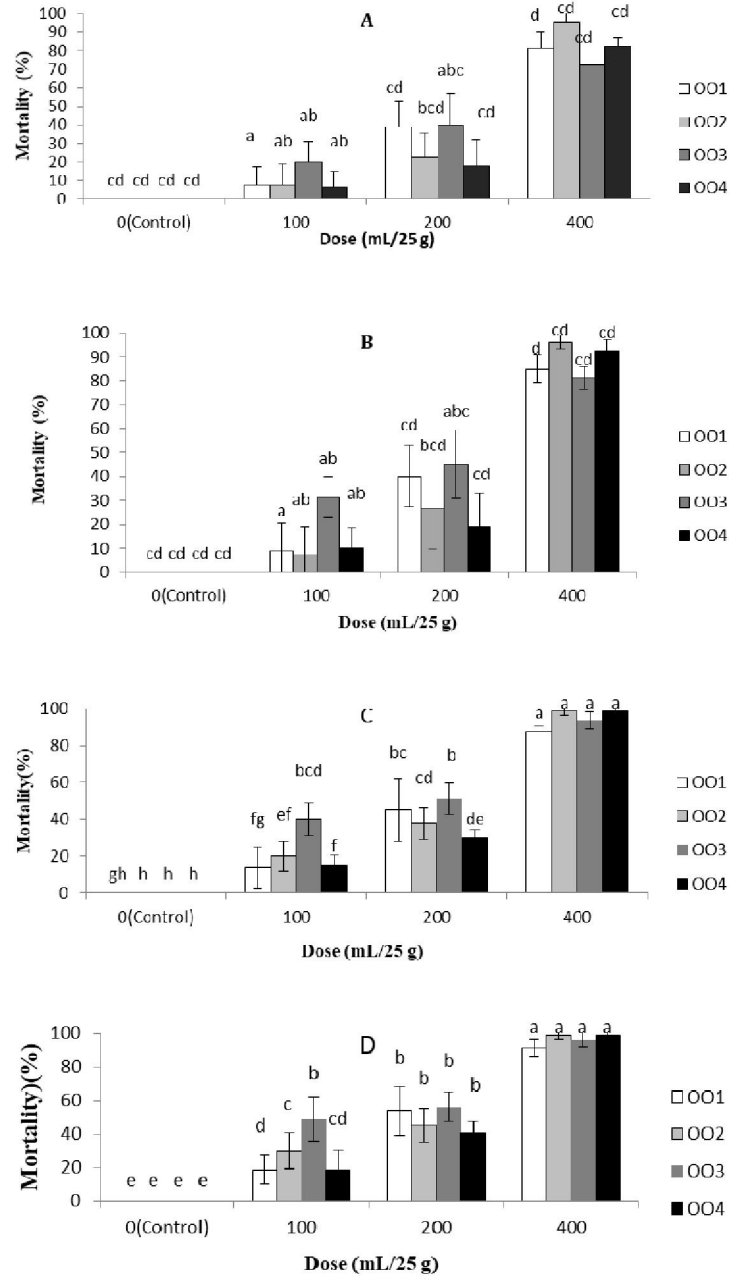


Figure1. Mortality of *R. dominica* in contact toxicity assay with four extra-virgin olive oils. (A) 24h of treatment, (B) 48h, (C) 72h, (D) 96h. N = 80 (4 × 20 insects) for each treatment. Bars with the same letter are not significantly different. 24h of treatment. Kruskal Wallis test with multiple comparisons, $P < 0.05$.

FATTY ACID COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF FOUR OLIVE OILS FROM KABYLIA (ALGERIA)
AGAINST *RHYZOPERTHA DOMINICA* (COLEOPTERA: BOSTRYCHIDAE) INFESTING WHEAT SEEDS

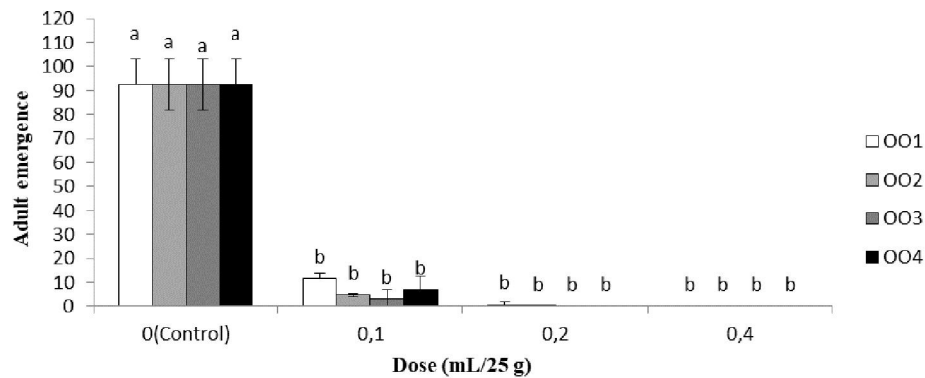


Figure 2. Mean progeny production (number of individuals/dish $\pm$ SE) on soft wheat treated with the four oils at three doses. Bars with the same letter are not significantly different. KruskalWallis test with multiple comparisons, $P < 0.05$.

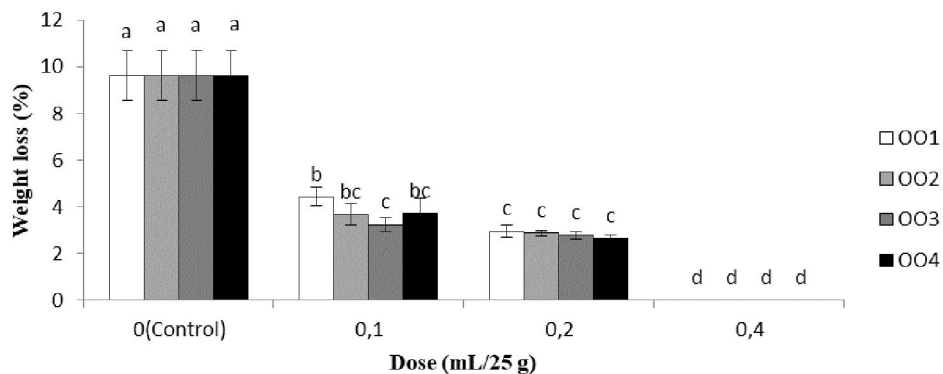


Figure 3. Percentage weight loss ($\% \pm$ SD) on soft wheat seeds treated with the four oils at three doses. Bars with the same letter are not significantly different. KruskalWallis test with multiple comparisons, $P < 0.05$.

Seed germination

According to the ANOVA, seed germination was significantly adversely affected as olive oil concentration increased ($F=29.952$, $P=0.000$). As the olive oil dose levels increased, the soft wheat seed germination rate decreased. But the oil origin factor and the dose-origin interaction do not influence germination, $F=0.367$, $P=0.780$ and $F=1.153$, $P=0.345$, respectively.

The tests carried out show that the germination capacity of wheat seeds from untreated and infected control lots reaches 92.50%, while this rate decreases as the dose increases in seeds treated with the various oils, ranging from 79.5% (0.1 mL/25g) to 45% (0.4 mL/25g) (Fig.4).

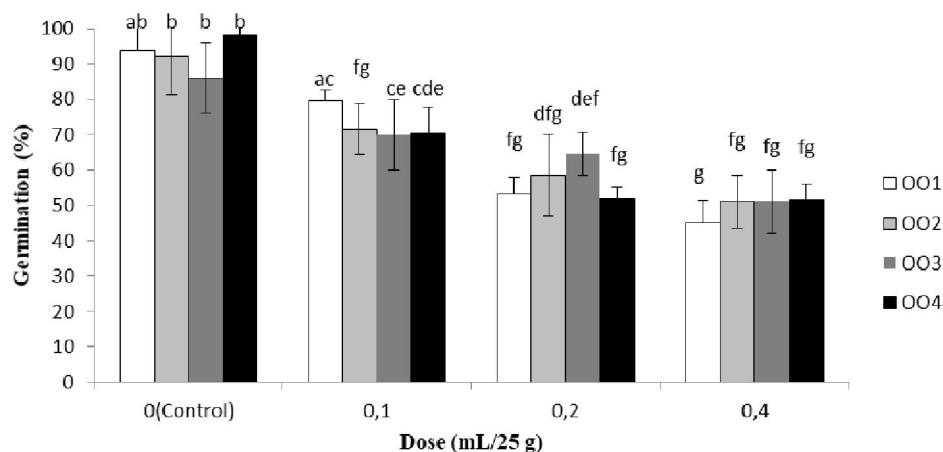


Figure 4. Percentage germination (% $\pm$ SD) of soft wheat seeds treated with the four oils at different rates and infested by *R.dominica*. Bars with the same letter are not significantly different. KruskalWallis test with multiple comparisons, $P < 0.05$.

Discussion

This study showed the bioactivity of olive oils from different localities on one of the main insect pests of stored cereals, *R. dominica*. These oils showed contact toxicity against adults of this pest, a significant reduction of its offspring and consequently a reduction in weight loss caused to grains. Moreover, the effectiveness of treatments varies according to the dose of these natural substances. These results confirm those of previous studies that have highlighted the efficacy of different vegetable oils to protect cereal grains against damage caused by different species of insects in stored products (Saxena and Singh 1994; Abdallah *et al.*, 2001; Chander, 2003; Rahman *et al.*, 2003; Yadav *et al.*, 2008; Fogang *et al.*, 2012; Hossain *et al.*, 2014; Rayhan *et al.*, 2014; Gumaa and Elamin, 2015; Wahedi *et al.*, 2015; Chakravarty *et al.*, 2020).

The results obtained reveal that after treatment of soft wheat seeds, at the dose of 0.4 mL/25g, the adults of *R. dominica* live less than 24 h, thus preventing the females from laying eggs and, consequently, the emergence of new offspring. Similar observations have been reported by other authors (Uvah and Ishaya, 1992; Ibrahim, 2012; Uddin and Sanusi, 2013; Parmar and Patel, 2015; Ekoja and Ogah, 2020) on the toxicity of olive oil and other

vegetable oils against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) infesting cowpea seeds.

Other authors such as Wale and Assegie (2015) found that castor bean oil (*Ricinus communis* L.), applied at a dose of 4 mL, against *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) caused 85% mortality after 1 h of exposure. In addition, groundnut, rape seed and sunflower vegetable oils, at 10 mL/kg of grain, caused considerable mortality in adults of *S. granaries* L. (Coleoptera: Curculionidae) (60-80%) in 14 days (Tembo and Murfitt, 1995). On the other hand, treatment of maize kernels with fixed oils from *Jatropha curcas* seeds (Euphorbiaceae) pretreated with different methods (cooking, roasting and raw) (1.50 μ l / cm², for 3 h) induced 47.52, 46.96 and 47.36% mortality for oil obtained from roasted, cooked and raw seeds, respectively, in *S. zeamais* (Babarinde *et al.*, 2019). Zohry *et al.* (2020) showed that black seed oil (*Nigella sativa*), sesame oil (*Sesamum indicum*) and olive oil (*Olea europaea*) at 1 mL/100 g are toxic to adults of *S. granarius* (83.33-100%) in 72 h. The research of Kellouche *et al.* (2004) also reveals that olive oil causes total mortality of adults of *C. maculatus* after 2 h of treatment with 0.8 mL/50 g cowpea seeds. The same is true for the work carried out by Gemechu *et al.* (2013) who demonstrated the efficacy of mustard and cottonseed oils (0.2 to 0.5 mL/250 g wheat), which cause mortality rates ranging from 25 to 100 % and reduce egg-laying in *S. zeamais*, without affecting the germination capacity of the seeds. According to the aforementioned authors, these treatments with olive oil induce the formation of a film that causes asphyxiation of the insect pest, as also demonstrated by Ait-Aider *et al.* (2016) in *C. maculatus*. In addition, adult mortality may have been caused by the action of saturated and unsaturated fatty acids that compose the chemical profile of olive oils (Hil and Schoonhoven, 1981). Moreover, some authors (Don-Pedro, 1990; Aider *et al.*, 2016) have highlighted the insecticidal effect of oleic acid and linoleic acid against *C. maculatus*. Regnault-Roger *et al.* (2002) also revealed the insecticidal activity of certain fatty acids such as oleic acid and undecylenic acid. These compounds cause the rupture of cell membranes, oxidative phosphorylation and insect cuticles (Weinzierl, 2000).

More recently, the insecticidal properties of certain volatile fatty acids (formic, acetic, propiolic, butyric and valeric acid) (Krzyżowski *et al.*, 2020) and a mixture of three free fatty acids, octanoic, nonanoic and decanoic acids (C8910) (Ramadan *et al.*, 2020) have been demonstrated against *C. maculatus*, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Ptinidae) and *R. dominica*, respectively.

Variation in oleic and linoleic acid content observed in olive oil samples obtained from the Chemlal variety are probably related to both genetic factors

and environmental conditions during fruit development and maturity (Arslan *et al.*, 2013; Essiari *et al.*, 2014; Rondanini *et al.*, 2014; Piscopo *et al.*, 2016; Borges *et al.*, 2017; García-Inza *et al.*, 2018).

Concerning the effect of treatments on the emergence of *R. dominica*, we observed a significant reduction in the number of first generation offspring when the dose is increased, regardless of the geographical origin of the oil tested. This may be a consequence of the reduction in oviposition and the ovicidal and larvicidal effects of the products tested (Shaaya *et al.*, 1997; Rolania and Bhargava, 2015).

This toxicity has also been observed by many authors such as Singh and Mall (1991) in *S. oryzae* exposed to soft wheat seeds treated with castor, neem, mustard and linseed oils (dose= 0.1%, v/w), Kellouche *et al.* (2004) with *C. maculatus* (reduction of emergence greater than 90%) in treatments carried out with 1st and 2nd pressing olive oils, and Singh *et al.* (2016) who demonstrated the biocidal activity of neem and castor oils and recorded a significant reduction in progeny in *R. dominica*.

In lots treated with olive oils, we observed a very significant reduction in weight losses of wheat seeds infested by *R. dominica*, which is most probably the consequence of the reduction in emergence of the insect pest as observed by Khinchi *et al.* (2017) in *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera: Bruchidae), infesting chickpea grains treated with neem, groundnut, coconut and sesamum (4, 8 and 12 mL/kg grains), or Dey and Sarup (1993) with *S. oryzae* on maize seeds treated with mustard, soya bean, coconut, neem, groundnut, cotton seed, sesame and castor oils. The same observations were also reported by Kumawat and Naga (2013), Akter *et al.* (2019) and Chakravarty *et al.* (2020) on pests such as *R. dominica*, with wheat grains, and *C. chinensis*, infesting green mung pulse (*Vigna radiata*) or chickpeas, in treatments with several vegetable oils such as black seed (*Nigella sativa*), neem, castor, Karanj, coconut, sesame, soybean, and mustard, for example.

Regarding germination tests, the results obtained reveal that the treatments with the different oils affect the germination capacity of the wheat grains as olive oil concentrations increased, as reported by Tembo and Murfitt (1995) testing high doses of groundnut, rape seed and sunflower (10 mL/kg) against *S. granarius*, as also reported by Yun-tai and Burkholder (1981) with oils of cotton seed, soybean, maize and peanut (5 or 10 mL/kg), and Ivbijaro (1984) obtaining a maize kernel viability ranging from 6 to 13% after treatment with groundnut oil (10 to 20 mL/kg), compared to the untreated control (100%). However, several authors have reported the safety of vegetable oils as noted by Singh *et al.* (2016) testing neem and castor oils (0.1 to 0.20% v/w) on *R. dominica* infesting wheat grains, and Hassan

(2001) testing sesame, sunflower and castor oils (0.1 to 1.25 % v/w) on *Trogoderma granarium* (Coleoptera: Dermestidae).

Conclusion

The results of our tests show that the four olive oils tested are highly toxic to *R. dominica*. In fact, its toxicity is increased as the dose increases. Comparison of LD₅₀ indicates that olive oil extracted from Maatkas olives is more effective than oils from other olive groves (Bachloul, Tadmait and M'Chedellah).

This study confirmed the agro-phytosanitary potential of Algerian olive oil, which can be used locally as a bio-pesticide for the protection of wheat seeds whose preservation is a major challenge for Algeria.

Since Algeria has a diversified olive-growing heritage, the valorization of these plant extracts as part of an integrated control program in the eco-chemical fight against insect pests of stored grains, in order to reduce the significant economic loss recorded each year in storage warehouses, is an interesting option.

Acknowledgements. We are grateful to the Laboratory of Entomology, University of Tizi-Ouzou (Algeria). We would like also to thank M. Paul for checking the English translation.

References

- Abbott, W.S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18, 265-267.
- Abdallah, S. A., Badawy, H. M. A., Barakat, A. A., & El-Sabaay, T. N. (2001). Efficacy of certain vegetable oils as wheat grain protectants against the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius). *Bull. Facult. Agric. Cairo Univ.* 52, 167-82.
- Abdelli, M., Moghrani, H., Aboun, A., & Maachi, R. (2016). Algerian *Mentha pulegium* L. leaves essential oil: chemical composition, antimicrobial, insecticidal and antioxidant activities. *Ind. Crop. Prod.* 94, 197-205.
- Ahmed, M. (2016). Faunal diversity in a cereal medium of Chlef region (Algeria). *J. Entomol. Zool. Stud.* 4(5), 1102-1106.
- Ait-Aider, F., Kellouche, A., Fellag, H., & Debras, J.F. (2016). Evaluation of the bio-insecticidal effects of the main fatty acids of olive oil on *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera-Bruchidae) in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.)). *J. Plant Dis. Prot.* 123(5), 235-245.
- Aitken, A.D. (1975). Insect Travelers, I; Coleoptera. Techn. Bull. 31. H.M.S.O, London, pp.190.
- Akter, S., Sultana, S., Akter, T., & Begum, S. (2019). Oviposition deterrent and ovicidal activity of three edible oils (black seed, sesame and soybean oils) against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* (Lin.) (Coleoptera: Bruchidae) on green gram, *Vigna radiata*. *Bangladesh j. zool.* 47(1), 59-65.

- Aoues, K., Boutoumi, H., & Benrima, A. (2017). Phytosanitary status of local durum wheat stored in Algeria. *J. Agrobiol*, 7 (1), 286–296.
- Arslan, D., Karabelkir, Y., & Schreiner, M. (2013). Variation of phenolic compounds fatty acids and some qualitative characteristics of Sariulak olive oil as induced by growing area. *Food Res. Int*, 54, 1897–1906.
- Arthur, F.H., Bean, S.R., Smolensky, D., Cox, S., Lin, H.H., Peiris, K.H.S., & Peterson, J. (2020). Development of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrychidae) on sorghum: Quality characteristics and varietal susceptibility. *J. Stored Prod Res*, 87, 101–569.
- Arve, S.S., Chavan, S.M., & Patel, M.B. (2014). Effect of rice weevil (*Sitophilus oryzae* Linnaeus) infestation on the biochemical properties of six wheat varieties. *Tr Biosci*, 7, 925–934.
- Babarinde, G.O., Babarinde, S.A., Ojedian, T.K., Odewole, A.F., Odetunde, D.A., & Bamido, T.S. (2019). Chemical composition and toxicity of *Jatropha curcas* seed oil against *Sitophilus zeamais* Motschulsky as affected by pre-extraction treatment of seeds. *Biocatal Agric Biotechnol*, 21, 101–333.
- Baccari, W., Znati, M., ZardiBergaoui, A., Chaieb, I., Flamini, G., Ascrizzi, R., & Jannet, H.B. (2020). Composition and insecticide potential against *Tribolium castaneum* of the fractionated essential oil from the flowers of the Tunisian endemic plant *Ferula tunetana* Pomel ex Batt. *Ind Crops Prod*, 111888.
- Bakhouch, A., Lozano-Sanchez, J., Bengana, M., Gutiérrez, A.F., & Carretera, A.S. (2015). Time course of Algerian Azeradj extra virgin olive oil quality during olive ripening. *Eur J Lipid Sci Technol*, 117(3), 389–397.
- Bashir, T. (2002). Reproduction of *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrychidae) on different host grains. *Pakist J Biol Sci*, 5, 91–93.
- Batta, Y., Saleh, A., & Salameh, A. (2007). Evaluation of the susceptibility of wheat cultivars to lesser grain borer *Rhyzopertha dominica* (Fab.), (Coleoptera: Bostrychidae). *Arab J Pl Prot*, 25(2), 159–162.
- Bellatreche, A., Mnasri, S., Ben Naceur, M., & Gaouar, S.S.B. (2019). Study of the Molecular Biodiversity of the Saharan Bread Wheat in Algeria. *Cereal Res Comm*, 47, 724–739.
- Bengana, M., Bakhouch, A., Lozano-Sánchez, J., Amir, Y., Youyou, A., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2013). Influence of olive ripeness on chemical properties and phenolic composition of Chemlal extra-virgin olive oil. *Int. Food Res. J*, 54, 1868 – 1875.
- Borges, T.H., Pereira, J.A., Cabrera Vique, C., Lara, L., Oliveira, A.F., & Seiquer, I. (2017). Characterization of Arbequina virgin olive oils produced in different regions of Brazil and Spain: physicochemical properties, oxidative stability and fatty acid profile. *Food Chem*, 215, 454–462.
- Boudour-Benrachou, N., Plard, J., Pinatel, C., Artaud, J., & Dupuy, N. (2017). Fatty acid compositions of olive oils from six cultivars from east and south-western Algeria. *Adv Food Technol Nutr Sci*, 3(1), 1–5.
- Boukouvala, M.C., Romano, D., Kavallieratos, N.G., Athanassiou, C.G., Stefanini, C., Conte, G., Canale, A., & Benelli, G. (2020). Does geographical origin affect lateralization and male mating success in *Rhyzopertha dominica* beetles? *J. Stored Prod Res*, 88, 101630.

FATTY ACID COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF FOUR OLIVE OILS FROM KABYLIA (ALGERIA)
AGAINST *RHYZOPERTHA DOMINICA* (COLEOPTERA: BOSTRYCHIDAE) INFESTING WHEAT SEEDS

- Boyer, S., Zhang, H., & Lempérière, G. (2012). A review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects. *Bull. Entomol. Res*, 102, 213–229.
- Brahmi F, Khodir M, Mohamed C, & Pierre D. (2017). Chemical Composition and Biological Activities of *Mentha* Species, In Tech: *In Aromatic and Medicinal Plants-Back to Nature*, pp.47-80.
- Chakravarty, MK., Prasanthi, SJ., & Kumar, SKJR. (2020). Evaluation of eight plant oils against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* Linnaeus (Bruchidae: Coleoptera) in chickpea under storage conditions. *Entomol Zool Stud*, 8(5), 1262-1267.
- Chander, R. (2003). Host preference and bio-control studies of *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) on barley and its management. Ph.D (Agri.), Rajasthan Agricultural University, Bikaner, pp. 243.
- Chen, A., & Dubcovsky, J. (2012). Wheat TILLING mutants show that the vernalization gene *VRN1* down-regulates the flowering repressor *VRN2* in leaves but is not essential for flowering. *PLOS Genet*, 8, e1003134.
- Chenni, M., El Abed, D., Neggaz, S., Rakotomanomana, N., Fernandez, X., & Chemat, F. (2020). Solvent free microwave extraction followed by encapsulation of *O. basilicum* L. essential oil for insecticide purpose. *J. Stored Prod. Res*, 86, 101575.
- Collins, P.J., & Schlipalius, D.I., 2018. Insecticide resistance, In: *Recent Advances in Stored Product Protection*, Athanassiou, C.G., Arthur, F.H. (Eds.), Springer Verlag, GmbH, Germany, pp. 169-182.
- Daglish, G.J., & Nayak, M.K. (2018). Prevalence of resistance to deltamethrin in *Rhyzopertha dominica* (F.) in eastern Australia. *J. Stored Prod. Res*, 78, 45e49.
- Dey, D., & Sarup, P. (1993). Feasibility of protecting maize varieties with vegetable oils to save losses in storage due to *Sitophilus oryzae* (Linnaeus). *J Ent Res*, 17, 1-15.
- Djideli, A., Daghbouche, S., Benrima, A., & Djazouli, Z. (2018). Evaluation of the insecticidal activity of the raw aquatic extract of the fabaceae *Cytisus triflorus* L' Her. regarding *Tribolium Castanum* (herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae). *J. Agrobiol*, 8 (2), 1093–1102.
- Don-Pedro, K.N. (1990). Insecticidal activity of fatty acid constituents of fixed vegetable oils against *Callosobruchus maculatus* on cowpea. *Pestic. Sci*, 30, 295-302.
- Ebrahimifar, J., Jamshidnia, A., Sadeghi, R., & Ebadollahi, A. (2020). Repellency of *Ferulago angulata* (Schlecht.) Boiss essential oil on two major stored-product insect pests without effect on wheat germination. *Int. J. Trop. Insect Sci*, 1-7.
- Edde, P.A. (2012). A review of the biology and control of *Rhyzopertha dominica* (F.) the lesser grain borer. *J. Stored Prod. Res*, 48, 1e18.
- Ekoka, EE., & Ogah, BE. (2020). Efficacy of oils from nine plant species as protectants against infestation by *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Chrysomelidae). *WJARR*, 07(03), 007–015.
- Essiari, M., Zouhair, R., & Chimi, H. (2014). Contribution to the study of the typical characteristics of the virgin olive oils produced in the region of Sais (Morocco), *OLIVÆ*, 119, 8-21.
- European Union, (2001). Commission Regulation (EEC) No. 1513/2001 of 23 July 2001 amending Regulations No. 136/66/EEC and (EC) No. 1638/98 as regards the

- extension of the period of validity of the aid scheme and the quality strategy for olive oil. *Official Journal of the European Communities*, L201, 4–7.
- Eydozehi, K., & Ravan, S. (2013). Evaluation of wheat cultivars resistant to insect priest or fine grain beetle, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius). *Ann Biol Res*, 4, 228-233.
- FAO (2015). The State of Food Insecurity in the World, FAO, Rome, Italy, pp.1e56.
- FAO (2019). World food and agriculture, Statistical Pocketbook, FAO, Rome, Italy, pp. 254.
- Filomeno, C. A., Almeida Barbosa, L. C., Teixeira, R. R., Pinheiro, A. L., de Sá Farias, E., Ferreira, J. S., & Picanço, M. C. (2020). Chemical diversity of essential oils of *Myrtaceae* species and their insecticidal activity against *Rhyzopertha dominica*. *Crop Prot*, 105309.
- Finney, D. J. (1971). Probit analysis, 3rd Ed, *Cambridge University Press*, London, U.K, pp.333.
- Fogang, H. P. D., Womeni, H. M., Piombo, G., Barouh, N., & Tapondjou, L. A. (2012). Bioefficacy of essential and vegetable oils of *Zanthoxylum xanthoxyloides* seeds against *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Food Prot*, 75, 547–555.
- García-Inza, G. P., Hall, A. J., & Rousseaux, M. C. (2018). Proportion of oleic acid in olive oil as influenced by the dimensions of the daily temperature oscillation. *Sci Hort*, 227, 305–312.
- Garcia-Lara, S., & Serna-Saldivar, S.O. (2016). Insect pests, In: *Encyclopedia of food and health*. Academic Press, Caballero, B., Finglas, P.M., (eds), London, pp. 432-436.
- Gemechu, F., Santiago, D. R., & Sori, W. (2013). Laboratory evaluation of cotton (*Gossypium hirsutum*) and Ethiopian mustard (*Brassica carinata*) seed oils as grain protectants against maize weevil, *Sitophilus zeamais* M. (Coleoptera : Curculionidae). *African J. of Agric. Res*, 8(32), 4374- 4379.
- Guissois, M., Le Dréau, Y., Boulkhroune, H., Madani, T., & Artaud, J. (2018). Chemometric characterization of eight monovarietal Algerian Virgin Olive Oils. *J Am Oil Chem Soc*, 95, 267-281.
- Gumaa, A.G.A., & Elamin, A.E.H. (2015). Efficacy of groundnut oil, wood ash, sand and some plant powders against *Callosobruchus chinensis* in cowpea seeds. *J. Agr. Sci. Technol*, 15, 647- 652.
- Hagstrum, D.W., & Flinn, P.W. (2014). Modern stored- product insect pest management. *J Plant Prot Res*, 54, 205-210.
- Hamdi, S.H., Hedjal-Chebheb, M., Kellouche, A., Khouja, M.L., Boudabous, A., & Jemaa, J.M.B. (2015). Management of three pests' population strains from Tunisia and Algeria using Eucalyptus essential oils. *Ind. Crops Prod*, 74, 551-556.
- Haouel-Hamdi, S., Ben Hamedou, M., Bachrouch, O., Boushih, E., Zarroug, Y., Sriti, J., Messaoud, C., Hammami, M., Abderraba, M., Limam, F., & Mediouni-Ben Jemâa, J. (2020). Susceptibility of *Tribolium castaneum* to *Laurus nobilis* essential oil and assessment on semolina quality. *Int J Trop Insect Sci*, 40(3), 667–675.
- Hassan, T.A. (2001). Effect of three plant oils (Sesame, sunflower and castor) against stored grain insects (*Trogoderma granarium* and *Sitophilus granarius*). *Uni of Aden, J. of Nat and Appl Scie*, 5, 103- 110.

FATTY ACID COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF FOUR OLIVE OILS FROM KABYLIA (ALGERIA)
AGAINST *RHYZOPERTHA DOMINICA* (COLEOPTERA: BOSTRYCHIDAE) INFESTING WHEAT SEEDS

- Hendrival, H., Afriani, D., & Aryani, D.S. (2019). Susceptibility and damage cereals to infestation *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) in storage. *Jurnal, Agro*, 6(1), 57-65.
- Hill, D. S. (2002). Pests of Stored Foodstuffs and Their Control. *Kluwer Academic Publishers*, Boston, pp. 855.
- Hill, J. & Schoonhoven, A.V. (1981) Effectiveness of vegetable oil fractions in controlling the Mexican bean weevil on stored beans. *J. Econ. Entomol*, 74, 478-479.
- Hossain, M.A., Alim, M. A., Ahmed, K.S., & Haque, M. A. (2014). Insecticidal potentials of plant oils against *Callosobruchus chinensis* (Coleoptera : Bruchidae) in stored chickpea. *JESI*, 34(3), 47-56.
- Huchet, J.B. (2017). Le Coléoptère, la Graine et l'Archéologue: approche archéontomologique des principaux ravageurs des denrées stockées ; In: *Plantes, produits végétaux et ravageurs*, Diestch Sellami, M.F., et al. (Eds.), Aquitania, Burdeos, pp. 17-42.
- Ibrahim, M.Y. (2012). Efficacy of some plant oils against stored-product pest cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) on chickpea seeds. *Persian Gulf crop protect*, 1(1), 4-11.
- International Olive Council (IOC). (2011). Guide for the determination of the characteristics of oil-olives. COI/OH/Doc. No: 1. COI/OH/ Doc. n°1, November 2011. IOC, Madrid, Spain, pp.34.
- Ivbijaro, M.F. (1984). Toxic effect of groundnut oil on the rice weevil, *Sitophilus oryzae* (L.). *Insect Sci. Appl*, 5, 251-252.
- Jood, S, Kapoor, A.C., & Singh, R. (1995). Amino acid composition and chemical evaluation of protein quality of cereals as affected by insect infestation. *Plant Foods Hum. Nutr*, 48(2), 159-167.
- Kakde, S P., Dhonde, S V., Sarda, A L., Khillare, P W., & Deshwal, H L. (2014). Screening of wheat varieties and eco-friendly management of *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) on wheat. *Pl Archs*, 14, 431-437.
- Kara, K., Rached-Kanouni, M., Mnasri, S., Khammar, H., & Ben Naceur, M. (2020). Genetic variability assessment in bread wheat (*Triticum aestivum*) grown in Algeria using microsatellites SSR markers. *Biodiversitas*, 21, 2638-2644.
- Kellouche, A., Ait-Aider, F., Labdaoui, K., Moula, D., Ouendi, K., Hamadi, N., Ouramdane, A., Frerot, B., & Mellouk, M., 2010. Biological activity of ten essential oils against cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Bruchidae). *Int. J. Integr. Biol*, 10, 86-89.
- Kellouche, A., & Soltani, N. (2004). Activité biologique des poudres de cinq plantes et de l'huile essentielle d'une d'entre elles sur *Callosobruchus maculatus* (F.). *Int. J. Trop. Insect Sci*, 24, 184-191.
- Kellouche, A., Soltani, N., Kreiter, S., Auger, J., Arnold, I., & Kreiter, P. (2004). Biological activity of four vegetable oils on *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae). *Redia*. **LXXXVII**, 39-47.
- Khinchi, SK., Sharma, MM., Khinchi, MK., Bairwa, DK., Dinesh Acharya, Naga, BL., & Naga, RP. (2017). Studies on efficacy of certain vegetable oils against pulse beetle, *Callosobruchus chinensis* Linn. on chickpea, *Cicer arietinum* (L.). *Int. J. Chem. Stud*, 5(3), 255-259

- Kim, KH., Kabir, E., &Jahan, SA. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Sci Total Environ*,575,525-535.
- Krzyżowski, M., Francikowski, J., Baran, B., & Babczyńska, A. (2020). *The short-chain fatty acids as potential protective agents against Callosobruchus maculatus infestation*. J. Stored Prod. Res, 86, 101570.
- Kumar, D., &Kalita, P. (2017). Reducing postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. *Foods*, 6(1), 8.
- Kumawat, K C., &Naga, B L. 2013. Effect of plant oils on the infestation of *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) in wheat, *Triticum aestivum* (Linnaeus).J. Plant Prot. Res, 53, 301-04.
- Laincer, F., Iaccarino , N., Amato, J., Pagano, B., Pagano, A., Tenore, G., Tamendjari, A., Rovellini, P., Venturini, S., Bellan, G., Ritieni, L. M., Novellino, E., & Randazzo, A. (2016). Characterization of monovarietal extra virgin olive oils from the province of Béjaïa (Algeria). *Int. Food Res. J*, 89, 1123 – 1133.
- Lal, D., & Raj, D V. (2012). Efficacy of application of four vegetable oils as grain protectant against the growth and development of *Callosobruchus maculatus* and on its damage. *Adv Biores*, 3, 55-59.
- Limonta, L., Morosini, M C., & Locatelli, D P. (2011). Development of *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera Bostrichidae) on durum wheat kernels and semolina. *J Ent Acarol Res Ser II*, 4, 33-38.
- Lougraimzi, H.,El Iraqui, S ., Bouaichi, A., Gouit , S., Achbani, E.H., &Fadli, M. (2018). Insecticidal effect of essential oil and powder of *Mentha pulegium* L. leaves against *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763) and *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Curculionidae, Tenebrionidae), the main pests of stored wheat in Morocco. *POL J ENTOMOL*, 87, 263– 278.
- Mason, L.J., &McDonough, M., 2012. Biology, behavior, and ecology of stored grain and legume insects. In: *Stored Product Protection*, Hagstrum, D.W., Phillips, T.W., Cuperus, G. (Eds.), Kansas State University, Manhattan, KS, pp. 7e20.
- Mau, Y S., Collins, P J., Daglish, G J., Nayak, M K., &Elbert, P R. (2012). The rph2 gene is responsible for high level resistance to phosphine in independent field strains of *Rhyzopertha dominica*. *PloS One* 7: e34027.
- Medjkouh, L., Tamendjari, A., Keciri, S., Santos, J., Nunes, M. A., & Oliveira, M. B. (2016). The effect of the olive fruit fly (*Bactrocera oleae*) on quality parameters, and antioxidant and antibacterial activities of olive oil. *Food Funct*, 7(6), 2780–2788.
- Merouche, A., Debaeke, P., Messahel, M., &Kelkouli, M., (2014). Response of durum wheat varieties to water in semi-arid Algeria. *Afr. J. Agric. Res*, 9 (38) ,2880-2893.
- Meziani, S., Saidani, S., Menadi, N., Mehida, H., Chenni, FZ., Zairi, M., Labga, L., Benguella, R., &Benali, M. (2020). Comparative assessment of bioactive compounds and antioxidant activity of soft wheat bran on the Algeria market. *Not. Sci. Biol*, 12(3),741-751.
- Morrison, W.R., Bruce, A., Wilkins, R.V., Albin, C.E., &Arthur, F.H., 2019. Sanitation improves stored product insect pest management. *Insects*, 10, 1e20.

FATTY ACID COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF FOUR OLIVE OILS FROM KABYLIA (ALGERIA)
AGAINST *RHYZOPERTHA DOMINICA* (COLEOPTERA: BOSTRYCHIDAE) INFESTING WHEAT SEEDS

- Nayak, M., Daglish, G., Phillips, TW., & Ebert, PR. (2020). Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: a global perspective. *Ann Rev Entomol*, 65, 333–350.
- Nia, B., Lekbir, A., & Ben Salah, MK. (2020). Insecticidal and antioxidant activities of aqueous extracts of two Algerian medicinal plants. *Acta Entomol. Serbica*, 25(1), 67–75.
- Obeng-Ofori, D., & Amiteye, S. (2005). Efficacy of mixing vegetable oils mixed with pirimiphosmethyl against the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky in stored maize. *J. Stored Prod. Res*, 41, 56–57.
- Park, SH, Arthur, FH, Bean, SR., & Schober, TJ. (2008). Impact of differing population levels of *Rhyzopertha dominica* (F.) on milling and physicochemical properties of sorghum kernel and flour. *J. Stored Prod. Res*, 44, 322–327.
- Parmar, V. R., & Patel, B.H. (2015). Evaluation of Plant Oils as Grain Protectants against Pulse Beetle, *Callosobruchus chinensis* on Mung Bean. *Trends in Biosci*, 8(15), 3855–3864.
- Piscopo, A., De Bruno, A., Zappia, A., Ventre, C., & Poiana, M. (2016). Characterization of monovarietal olive oils obtained from mills of Calabria region (Southern Italy). *Food Chem*, 213, 313–318.
- Rahman, M A., Taleb, M A., & Biswas, M M. (2003). Evaluation of botanical product as grain protectant against grain weevil, *Sitophilus granarius* (Linnaeus) on wheat. *Asian J Pl Sci*, 2, 501–504.
- Ramadan, GRM., Abdelgaleil, SAM., Shawir, MS., El-bakary, AS., Zhu, KY., & Phillips, T W. (2020). Terpenoids, DEET and short chain fatty acids as toxicants and repellents for *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) and *Lasioderma serricornis* (Coleoptera: Ptinidae). *J. Stored Prod. Res*, 87, 101610.
- Rayhan, MZ., Das, S., Sarkar, R., Adhikary, SK., Tania, SN., Islam, MM., & Rabbani, MG. (2014). Bioefficacy of neem, mahogoni and their mixture to protect seed damage and seed weight loss by rice weevil in storage. *J. Biodivers. Environ. Sci*, 5(1), 582–589.
- Regnault-Roger, C., Philogene, J.R.B., & Vincent, C. (2002). Bio- pesticides d'origine végétale. 2 Ed. *Tec et Doc Paris ; Lavoisier*, pp, 319.
- Ridley, A.W., Hereward, J.P., Daglish, G.J., Raghu, S., McCulloch, G.A., & Walter, G.H. (2016). Flight of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) a spatiotemporal analysis with pheromone trapping and population genetics. *J. Econ. Entomol*, 109, 2561e2571.
- Righi, K., Assia Righi, F., Boubkeur, A., Boungab, K., Elouissi, A., & Djendara, A.C. (2018). Toxicity and repellency of three Algerian medicinal plants against pests of stored product: *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (Coleoptera: Bostrichidae). *Banats J Biotechnol*, IX(17), 50–59.
- Rolania, K., & Bhargava, M.C. (2015). Evaluation of different plant oils against *Lasioderma serricornis* Fab. on fennel. *J. Nat. Appl*, 7 (1), 83 – 87.
- Rondanini, D.P., Castro, D.N., Searles, P., & Rousseaux, M.C. (2014). Contrasting patterns of fatty acid composition and oil accumulation during fruit growth in several olive varieties and locations in a non-Mediterranean region. *Eur. J. Agron*, 52, 237–246

- Saad, A.S.A., Tayeb, E.H.M., El-Shazli, M.M., & Baheeg, S.A. (2018). Susceptibility of certain Egyptian and imported wheat cultivars to infestation by *Sitophilus oryzae* and *Rhyzopertha Dominica*. *Arch. Phytopathol. Plant Prot*, 51, 14-29.
- Saxena, A., & Singh, Y P. (1994). Effect of some plant products as protectants against *Rhyzopertha dominica* Fabricius on wheat grains. *Bull Grain Tech*, 32, 117-121.
- Shaaya, E., Kostjukovski, M., Eilberg, J., & Sukprakarn, C. (1997). Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. *J Stored Prod Res*, 33, 7-15.
- Singh, S., Sharma, DK., & Gill, RS. (2016). Evaluation of three plant oils for the control of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) in stored wheat. *J. Insect Sci*, 29, 162-169.
- Singh, Y P., & Mall, N P. (1991). Effect of various grain protectants on germination and damage of wheat grain by *Sitophilus oryzae* (Linnaeus). *Bull Grain Tech*, 29, 50-54.
- Srivastava, C., & Subramanian, S. (2016). Storage insect pests and their damage symptoms: an overview. *Indian J Entomol*, 78, 53-58.
- Tefera, T., Kanampiu, F., De Groote, H., Hellin, J., Mugo, S., Kimenju, S., Beyene, Y., Boddupalli, P.M., Shiferaw, B., & Banziger, M., 2011. The metal silo: an effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers' food security in developing countries. *J. Crop Prot*, 30, 240e245.
- Tembo, E., & Murfitt, RFA. (1995). Effect of combining vegetable oil with pirimiphos-methyl for protection of stored wheat against *Sitophilus granarius* (L.). *J. Stored Prod. Res*, 31(1), 77-81.
- Toews, M D., Cuperus, G., & Phillips, T W. (2000). Susceptibility of Eight U.S. Wheat Cultivars to Infestation by *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). *Environ Ent*, 29, 250-255.
- Uceda, M., & Hermoso, M. (1998). La calidad del aceite de oliva en el cultivo del olivo. AAVV. 2ª Ed. *Coedición Junta de Andalucía- Mundiprensa*, Spain, pp.116-125.
- Uddin, II R.O., & Sanusi, S.A. (2013). Efficacy of olive oil, groundnut oil, soybean oil and palm kernel oil in the control of *Callosobruchus maculatus* in stored cowpea (*Vigna unguiculata*). *Agrosearch*, 13, 67-72.
- Uvah, I.I., & Ishaya, A. T. (1992). Effect of some vegetable oils on emergence, oviposition and longevity of the bean weevil, *Callosobruchus maculatus* (F.). *Trop. Pest Manag*, 38, 257-260.
- Valenzuela-Aragon, B., Parra-Cota FI., Santoyo G., Arellano Wattenbarger GL, & de Los Santos-Villalobos S. (2019). Plant-assisted selection: a promising alternative for in vivo identification of wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. Durum) growth promoting bacteria. *Plant Soil*, 435, 367-384.
- Wahedi J.A., Zakariya, R., Danba, E.P., David, D.L., Mshelmbula, B.P., Buba, U., Barau, B.W., Dauda, U.D., & Bello, H. (2015). Ethnobotanical studies of the efficacy of five oils at graded levels on adult *Callosobruchus maculatus* reared on cowpea. *IJRR*, 2, 481-486.
- Wale, M., & Assegie, H. (2015). Efficacy of castor bean oil (*Ricinus communis* L.) against maize weevils (*Sitophilus zeamais* Mots.) in northwestern Ethiopia. *J. Stored Prod. Res*, 63, 38-41.

FATTY ACID COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF FOUR OLIVE OILS FROM KABYLIA (ALGERIA)
AGAINST *RHYZOPERTHA DOMINICA* (COLEOPTERA: BOSTRYCHIDAE) INFESTING WHEAT SEEDS

- Waongo, A., Traoré, F., Sankara, F., Dabiré-Binso, C., & Sanon, A. (2018). Evaluation du potentiel de développement de *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera : Bostrichidae) sur deux variétés locales de sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 12, 5, 2143-2151
- Weinzierl R. A. (2000). Botanical insecticides, soaps and oils, In: *Biological and Biotechnological Control of Insect Pests*, Jack, E.R. (Ed.) . Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 101-121.
- Win, N., & Rolania, K. (2020). Influence of seasonal variation on the biology of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*, (Fabricius) on wheat . *J. Entomol. Zool*, 8(5), 285-290
- Yadav, J P., Bhargava, M C., & Yadav, S R. (2008). Effect of various plant oils on rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Linnaeus) in wheat. *Indian J Pl Prot*, 36, 35-39.
- Yakhlef, G., Hambaba, L., Pinto, D. C. G. A., & Silva, A. M. S. (2020). Chemical composition and insecticidal, repellent and antifungal activities of essential oil of *Mentha rotundifolia* (L.) from Algeria. *Ind Crops Prod*, 158, 112988.
- Yun-tai, Q.I., & Burkholder, W.E. (1981). Protection of stored wheat from the granary weevil by vegetable oils. *J. Econ. Entomol*, 74, 502-505.
- Zohry, NMH, Ali, SA., & Ibrahim, AA. (2020). Toxicity of Ten Native Edible and Essential Plant Oils Against the Granary Weevil, *Sitophilus granarius* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Egypt. Acad. J. Biolog. Sci*, 12(2), 219-227.

Résumé

L'activité biologique de quatre huiles brutes extraites des grignons collectés de quatre localités de la Kabylie, de l'huile de grignon raffinée et des huiles d'olives vierge-extra a été évalué dans des conditions de laboratoire pour le contrôle de *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) (Coleoptera : Bostrychidae)) et *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763) (Coleoptera : Curculionidae). Les doses utilisées varient de 0.1 à 0.4ml/25g de semences de blé dur et de blé tendre. Les indices de qualité et la composition en acides gras de ces huiles ont été évalués. Pour les huiles végétales testées, les valeurs obtenues se situent généralement dans les limites légales des catégories HGB, HGR et HOV. L'efficacité de ces huiles végétales dépend fortement de l'espèce d'insecte, du type d'huile testée, de la dose et de la durée d'exposition et de la campagne oléicole. Les principaux acides gras, de tous les échantillons testés sont l'acide oléique (59.08-79,25%), l'acide palmitique (8,34-18,81%) et l'acide linoléique (8,17-16,52%). Pour les deux espèces de ravageurs et de substrats testés, la mortalité est dose et durée d'exposition dépendante. La plus forte dose (0.4 ml/25g) cause une mortalité $\geq 60\%$, après 24h d'exposition chez *S. oryzae* et *R. dominica*. L'insecte le plus sensible a été *S. oryzae*. De même, en présence de chacun des deux substrats testés, les huiles réduisent significativement l'effectif de la progéniture de la F1 des deux insectes et les pertes en poids des graines. Aucune descendance n'a été observée chez les deux ravageurs, à la plus forte dose, et par conséquent, aucune perte en poids des grains n'a été enregistrée. Les résultats ont révélé également que les huiles affectent le pouvoir germinatif des semences de blé dur et de blé tendre, lorsque nous augmentons la dose. Les résultats récoltés restent encourageants pour la recommandation des substances naturelles, dans le cadre d'un programme de lutte intégrée, contre les insectes ravageurs des grains stockés.

Mots clés : Valorisation, huiles de grignon d'olives, huiles d'olives de la variété Chemlal, acides gras, activité biologique, *Triticum aestivum*, *Triticum turgidum*, insectes des grains stockés.

Abstract

The insecticidal effect of four crude olive pomace oils extracted from pomace collected from four localities of Kabylia, refined olive pomace oil and extra virgin olive oil were assessed under laboratory conditions for the control of adults of *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792) (Coleoptera: Bostrychidae)) and *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763) (Coleoptera: Curculionidae). The doses used range from 0.1 to 0.4ml/25g of durum and soft wheat seeds. In addition, the quality indices and the fatty acid composition of these oils were evaluated. The results show that the legal quality indices were well within the legal limits for COP, ROP and EVO categories. The effectiveness of these vegetable oils is highly dependent on the insect species, the type of oil tested, the dose rate, the exposure time and crop season. The main fatty acids from all samples tested, were oleic (61.89-79.25%), palmitic (8.34 - 15.71%) and linoleic (8.17 - 16.52 %) acids. For both species and substrates tested, mortality is dose and time of exposure dependent. The highest dose (0.4 ml/25g) causes $\geq 60\%$ mortality, after 24h of exposure. The most sensitive insect was *S. oryzae* for most vegetable oils tested. Likewise, oils significantly reduce the F1 offspring of both insects and seed weight losses. No progeny were observed in the two pests at the highest dose, and therefore no weight loss was recorded. The results also revealed that the six oils affect the germination capacity of durum and soft wheat seeds when the dosage is increased. The results collected remain encouraging for the recommendation of natural substances as part of integrated pest management programmes against insect pests of stored grains.

Key words: Valorisation, oil of olive cake, olive oil of Chemlal variety, fatty acids, contact toxicity, *Triticum aestivum*, *Triticum turgidum*, stored product pests.