

Lutte biologique

Page d'accueil du journal :
www.elsevier.com/locate/ybcon

Révision

Aperçu des ennemis naturels du charançon du palmier *Rhynchophorus*, en particulier *R. ferrugineus*Giuseppe Mazza^a, □, Valeria Francardi^a, Sauro Simoni^a, Claudia Benvenuti^a, Rita Cervo^b, Jose Romeno Faleiro^c, Elena Llácer^d, Santi Longo^e, Roberto Nannelli^a, Eustachio Tarasco^f, Pio Federico Rovesti^a^a Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Research Centre for Agrobiology and Pedology, Cascine del Riccio, via di Lanciola 12/a, 50125 Firenze, Italy^b Dipartimento di Biologia, Università degli Studi di Firenze, via Romana 17, 50125 Firenze, Italie^c FAO des Nations unies, Centre de recherche sur les palmiers dattiers, PO Box 43, Al-Hassa 31982, Arabie saoudite^d Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Unidad Asociada de Entomología Agrícola UJI-IVIA, Centro de Protección Vegetal y Biotecnología, Carretera Montcada-Nàquera km 4.5, E-46113 Montcada, Espagne^e Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali, Università di Catania, via S. Sofia 100, 95123 Catania, Italie^f Dipartimento di Scienze del Suolo della Pianta e dell'Ambiente, Università degli Studi di Bari "A. Moro", via Amendola 165/a, 70126 Bari, Italie

Les personnalités et la cartographie

- Les espèces de *Rhynchophorus* sont polyphages et certaines sont des ravageurs de plusieurs espèces de palmiers.
- Nous avons passé en revue leurs ennemis naturels dans leurs régions d'origine et dans les régions où ils ont été introduits.
- Plus de 50 ennemis naturels ont été signalés comme attaquant les espèces de *Rhynchophorus*.
- Les champignons sont les plus prometteurs pour la lutte biologique.



a r t i c l e i n f o

Historique de l'article :

Reçu le 22 décembre 2013

Accepté le 27 juin 2014

Disponible en ligne le 5 juillet 2014

Mots-clés :

Rhynchophorus

Charançon des

palmiers

Ravageurs des

palmiers

Rhynchophorus ferrugineus

Ennemis naturels Lutte

biologique

a b s t r a c t

Les charançons des palmiers *Rhynchophorus* sont de gros insectes appartenant à la famille des Dryophthoridae. Toutes les espèces de *Rhynchophorus* sont polyphages et ont un cycle biologique similaire, mais certaines sont des ravageurs importants en raison des graves dommages économiques qu'elles causent, en particulier à plusieurs espèces de la famille des Arecaceae. Nous passons ici en revue les ennemis naturels des espèces de *Rhynchophorus* dans leurs régions d'origine et dans les régions où elles ont été introduites, afin d'évaluer les possibilités de lutte biologique contre ce taxon. En outre, une attention particulière est accordée à l'espèce nuisible et bien étudiée *Rhynchophorus ferrugineus*, sur laquelle davantage d'informations sont disponibles, et à ses ennemis naturels dans la région méditerranéenne, car l'impact de ce ravageur dans cette région récemment colonisée est particulièrement remarquable et la tendance récente en matière de gestion des espèces est de rechercher des ennemis naturels indigènes.

Plus de 50 ennemis naturels ont été signalés pour attaquer les espèces de *Rhynchophorus*, même si la plupart d'entre eux sont associés à *R. ferrugineus* (Olivier), ce qui souligne le manque d'informations sur les autres espèces du genre. Les avantages et les inconvénients de tous les agents de lutte biologique sont ensuite discutés : parmi les organismes considérés, les champignons méritent d'être pris en compte dans les programmes de lutte intégrée contre les ravageurs.

* Auteur correspondant.

Adresse électronique : giuseppe.mazza@entecra.it (G. Mazza).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.06.010>

1049-9644/© 2014 Elsevier Inc. Tous droits réservés.

Dans l'ensemble, notre aperçu souligne la nécessité d'accroître les connaissances sur les ennemis naturels de toutes les espèces du genre *Rhynchophorus*, d'isoler des souches plus virulentes et de déterminer les conditions optimales pour l'action des agents de biocontrôle.

2014 Elsevier Inc. Tous droits réservés.

1. Introduction

Les charançons du palmier *Rhynchophorus* sont de gros insectes appartenant à la famille des Dryophthoridae, à la sous-famille des Rhynchophorinae et à la tribu des Rhynchophorini (Bouchard et al., 2011). Le genre *Rhynchophorus* a été créé par Herbst en 1795 et a fait l'objet de plusieurs révisions importantes (Wattanapongsiri, 1966 ; Hallett et al., 2004). Aujourd'hui, dix espèces sont reconnues : trois du Nouveau Monde [*Rhynchophorus cruentatus* (Fabricius), *Rhynchophorus palmarum* (L.) et *Rhynchophorus richteri* (Wattanapongsiri)], deux d'Afrique [*Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius) et *Rhynchophorus quadrangulus* (Queden)] et cinq d'Asie tropicale [*Rhynchophorus bilineatus* (Montrouzier), *Rhynchophorus distinctus* (Wattanapongsiri), *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier), *Rhynchophorus lobatus* (Ritsema) et *Rhynchophorus vulneratus* (Panzer)] (Wattanapongsiri, 1966 ; Hallett et al., 2004 ; Rugman-Jones et al., 2013). Le statut taxonomique de certaines espèces est encore incertain (par exemple *R. lobatus*), dans l'attente d'une analyse compréhensive combinant des approches morphologiques et biomoléculaires, qui pourrait aboutir à une synonymisation et clarifier les relations entre espèces (voir aussi Wattanapongsiri, 1966 ; Murphy et Briscoe, 1999). Dans ce contexte, très récemment, Rugman-Jones et al. (2013) ont fourni des preuves concluantes pour la réintégration de *R. vulneratus* en tant qu'espèce valide, distincte de *R. ferrugineus*.

Toutes les espèces de *Rhynchophorus* sont polyphages et ont un mode de vie similaire.

Histoire : les femelles sont généralement attirées par les volatiles des palmiers et pondent plusieurs oeufs dans les parties mourantes ou endommagées des palmiers, bien que des palmiers non endommagés puissent aussi être attaqués. Après quelques jours, les oeufs éclosent en larves qui se développent dans les troncs des palmiers, entraînant souvent la mort de la plante (Wattanapongsiri, 1966 ; Giblin-Davis et al., 1996 ; Murphy et Briscoe, 1999).

Peu ou pas de données sur les plantes hôtes et d'autres informations biologiques sont disponibles pour quatre de ces espèces (*R. distinctus*, *R. lobatus*, *R. quadrangulus* et *R. richteri* : Wattanapongsiri, 1966 ; Murphy et Briscoe, 1999). Les autres espèces (*R. bilineatus*, *R. cruentatus*, *R. ferrugineus*, *R. palmarum* et *R. phoenicis*) sont bien connues et sont des ravageurs importants en raison des dommages économiques graves qu'elles causent, en particulier à plusieurs espèces de la famille des Arecaceae (Wattanapongsiri, 1966).

En raison de la difficulté de détecter à temps les dégâts causés par les espèces de *Rhynchophorus* au cours des premiers stades de l'infestation (en particulier en raison des habitudes cryptiques des larves), la lutte intégrée contre les ravageurs (IPM) est principalement envisagée pour tenter de combiner la sensibilisation du public, les mesures de précaution et l'efficacité des méthodes de lutte (Murphy et Briscoe, 1999 ; Faleiro, 2006a,b). De nos jours, les méthodes de lutte s'articulent autour de traitements chimiques, de systèmes biotechnologiques utilisant des produits semi-chimiques ou le développement de la technique de l'insecte stérile (difficilement viable à l'heure actuelle) (p. ex. Paoli et al., 2014), et de la lutte biologique (Wattanapongsiri, 1966 ; Murphy et Briscoe, 1999 ; Faleiro, 2006a,b). Étant donné que les applications chimiques suscitent de graves préoccupations liées à la pollution de l'environnement et à la résistance des insectes, et qu'elles affectent la santé humaine, la lutte biologique respectueuse de l'environnement suscite aujourd'hui un grand intérêt. La lutte

biologique (ou biocontrôle) est un terme général qui englobe une variété d'actions de gestion basées sur l'utilisation d'ennemis naturels de l'envahisseur. Toutefois, ces ennemis ne sont pas toujours spécifiques à l'organisme cible et peuvent s'attaquer à des organismes indigènes. Les agents de contrôle doivent donc faire l'objet d'un examen approfondi.

La spécificité et les effets non ciblés sont vérifiés avant leur libération dans la nature (De Clercq et al., 2011). G. Mazza et al / Biological Control **bactérie et/ou pathogène pour les charançons lorsqu'elle était ingérée 85**
par gavage ou par

Reginald (1973) a suggéré que les ennemis naturels ne peuvent pas jouer un rôle décisif dans la lutte contre le pire ravageur des palmiers au monde,

R. ferrugineus (RPW) et peu d'études ont été menées sur les ennemis naturels de *Rhynchophorus* (Murphy et Briscoe, 1999 ; Faleiro, 2006a,b). Nous passons ici en revue les ennemis naturels associés au charançon du palmier (tableau 1) en tenant compte de leurs pièges et de leurs potentialités afin d'identifier les techniques de gestion à prendre en compte dans le développement et l'intégration des stratégies de lutte biologique. Par rapport aux études précédentes portant sur le charançon du palmier (par exemple Murphy et Briscoe, 1999 ; Faleiro, 2006a,b), cette contribution met particulièrement l'accent sur la région méditerranéenne, où les caractéristiques particulières de son invasion différaient de celles enregistrées dans la plupart des pays infestés par le ravageur jusqu'à il y a environ dix ans (Jacas et al., 2011) et où, récemment, de nombreuses recherches ont été menées en raison de l'importance acquise par le ravageur depuis cette époque. En outre, cette revue étend l'analyse à l'ensemble des ennemis de *Rhynchophorus*.

2. Virus

Les virus entomopathogènes appartiennent à 11 familles et ont été isolés chez plus d'un millier d'espèces et au moins 13 ordres différents d'insectes (voir Flexner et Belnavis, 2000). Les maladies virales des insectes sont reconnues depuis longtemps, mais ce n'est qu'au cours des 40 dernières années que l'on s'est intéressé de plus en plus à l'utilisation de ces agents pour lutter contre les insectes nuisibles (Flexner et Belnavis, 2000).

Le très puissant virus de la polyédrose cytoplasmique (CPV) est le seul à avoir été enregistré chez les tigres royaux. Après son premier signalement en Inde, où il a infecté tous les stades des insectes (Gopinadhan et al., 1990), le virus a été détecté en Égypte sur des tigres royaux morts (El-Minshawy et al., 2005). L'infection à la fin du stade larvaire a entraîné des adultes déformés et une réduction drastique de la population d'insectes (Gopinadhan et al., 1990).

3. Bactéries

Les entobactéries pathogènes appartiennent principalement aux familles Bacillaceae, Pseudomonadaceae, Enterobacteriaceae, Streptococcaceae et Micrococaceae (Tanada et Kaya, 1993). Bien que de nombreuses bactéries puissent infecter les insectes, seuls les membres de deux genres de l'ordre des Eubacteriales, *Bacillus* et *Serratia*, ont été homologués pour la lutte contre les insectes (Tanada et Kaya, 1993).

Pour le genre *Rhynchophorus*, seules des bactéries ont été isolées à partir de tordeuses de la pomme de terre : Dangar et Banerjee (1993) ont découvert des bactéries appartenant à *Bacillus* sp., *Serratia* sp. et au groupe des corynéformes dans des larves et des adultes en Inde, tandis qu'Alfazairy et al. (2003) et Alfazairy (2004) ont isolé *Bacillus thuringiensis* Berliner et *Bacillus sphaericus* Meyer et Neide à partir de larves et d'adultes en Égypte. Alfazairy (2004) a rapporté une lutte réussie contre l'IPR en conditions de laboratoire grâce à une infection par *B. thuringiensis* sous-espèce *kurstaki* isolée à partir de larves en Égypte. En revanche, d'autres auteurs ont montré une susceptibilité différente des tordeuses de la pomme de terre à *B. thuringiensis* (Manachini et al., 2008a,b, 2009). *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter) a été isolé à partir de larves infectées collectées au Kerala, en Inde (Banerjee et Dangar, 1995). Des essais en laboratoire ont démontré que cette

Tableau 1
Les ennemis naturels des espèces de *Rhynchophorus*.

Agents de biocontrôle	Genre	Espèces	Stade attaqué (s)	<i>Rhynchophorus</i> espèces	Lieu(x) d'enregistrement	Référence
Virus	<i>Cypovirus</i>	sp.	Toutes les étapes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte, Inde	Gopinadhan et al. (1990), Alfazariy et al. (2003), Alfazariy (2004), El-Minshawy et al. (2005)
Coryneform			Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Inde	Dangar et Banerjee (1993)
groupe de bactéries	<i>Bacillus</i>	<i>laterosporus</i>	Larves	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte	Salama et al. (2004)
Bactéries		<i>mégaterium</i>	Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte, Italie	Salama et al. (2004), Francesca et al. (2008)
		sp.	Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Inde	Dangar et Banerjee (1993)
		<i>sphaericus</i>	Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte, Italie	Alfazariy et al. (2003), Alfazariy (2004), Salama et al. (2004), Francesca et al. (2008)
		<i>thuringiensis</i>	Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte, Italie	Alfazariy et al. (2003), Alfazariy (2004), Francesca et al. (2008)
	<i>Pseudomonas</i>	<i>aeruginosa</i>	Larves	<i>R. ferrugineus</i>	Inde	Banerjee et Dangar (1995)
	<i>Serratia</i>	<i>marcescens</i>	Œufs, larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Chine	Jing et al (2011)
		sp.	Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Inde	Dangar et Banerjee (1993) Torta
Champignons	<i>Aspergillus</i>	sp.	Larves, nymphes et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Italie	et al. (2009)
	<i>Beauveria</i>	<i>bassiana</i>	Larves, nymphes et Adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte, Iran, Italie, Espagne, Royaume-Uni	Ghazavi et Avand-Faghih (2002), El-Sufty et al. (2009), Sewify et al. (2009), Torta et al. (2009), Dembilio et al. (2010a), Güerri-Agulló et al. (2011), Francardi et al. (2012)
		sp.	Adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Émirats arabes unis Inde	Shaju et al. (2003)
	<i>Fusarium</i>	sp.	Toutes les étapes	<i>R. ferrugineus</i>	Italie	Torta et al. (2009)
	<i>Metarhizium</i>	<i>anisopliae</i>	Plusieurs étapes, princip alemen t des adulte s	<i>R. ferrugineus</i>	Iran, Italie, Égypte	Ghazavi et Avand-Faghih (2002), Merghem (2011), Francardi et al (2012)
			Adultes	<i>R. bilineatus</i>	Nouvelle Guinée	Prior et Arur (1985)
		<i>pingshaense</i>	Adulte s	<i>R. ferrugineus</i>	Vietnam	Cito et al. (2014)
	sp.			<i>R. ferrugineus</i>	Italie	Torta et al. (2009)
	<i>Penicillium</i>	sp.	Adulte s	<i>R. ferrugineus</i>	Italie	Torta et al. (2009)
			Larves, nymphes et adultes			
	<i>Trichothécium</i>	sp.	Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Italie	Torta et al. (2009)
Levures			Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte, Inde	Dangar (1997), Salama et al. (2004)
Nématodes	<i>Heterorhabditis</i>	<i>bactériophore</i>	Larves, nymphes et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Turquie	Atakan et al. (2009a)
		<i>indica</i>	Larves, nymphes et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte, Émirats arabes unis,	Abbas et al. (2001a), Sosamma et Rasmi (2002), Banu et Rajendran (2002, 2003), Banu et al. (2003)
	<i>Praecocilenchus</i>	<i>rhaphidophorus</i>	Adultes	<i>R. bilineatus</i>	Inde	Poinar Jr (1969)
		<i>ferruginophorus</i>	Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Papouasie-Nouvelle-Guinée Inde	Rao et Reddy (1980) Abbas et al. (2001a)
	<i>Steinernema</i>	<i>abbasi</i>	Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte, États-Unis	
		<i>glaseri</i>	Larves et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Émirats arabes unis Inde	Banu et al. (2003)
		sp.	Larves, nymphes et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Inde, Égypte, Arabie Saoudite	Sosamma et Rasmi (2002), Banu et al. (2003), Shamseldean et Atwa (2004), Saleh et al. (2011)
Acariens	<i>Aegyptus</i>	<i>alhassa</i>	Œufs,	<i>R. ferrugineus</i>	Arabie Saoudite	Al-dhafar et Al-Qahtani (2012)

		nymphes et adultes			
	<i>rynchophorus</i>	Nymphes et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypt	Hassan et al. (2011)
	<i>zaheri</i>	Nymphes et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	e	Hassan et al. (2011)
<i>Fascuropoda</i>	<i>marginata</i>	Nymphes et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypt	Hassan et al. (2011)
		Nymphes et adultes		e	
		adultes		Égypt	
				e	
<i>Hypoaspis</i>	<i>sardoa</i>	Toutes les étapes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte	El-Sharabasy (2010)
<i>Hypoaspis</i>	sp.	Adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Inde	Peter (1989)
<i>Iphidosome</i>	sp.	Toutes les étapes	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte	El-Sharabasy (2010)
<i>Parasite</i>	<i>zaheri</i>	Larves et chrysalide	<i>R. ferrugineus</i>	Égypte	El-Sharabasy (2010)

(suite à la page suivante)

Tableau 1 (suite)

Agents de biocontrôle	Genre	Espèces	Stade attaqué (s)	<i>Rhynchophorus</i> espèces	Lieu(x) d'enregistrement	Référence
Insectes	<i>Rhynchopolipus</i>	<i>rhynchophori</i>	Larves	<i>R. ferrugineus</i>	Inde	Peter (1989)
			Adultes	<i>R. palmarum</i>	Centrale et Amérique du Sud, Costa Rica	Mari et OConnor (1999)
		<i>brachycéphale swiftae</i>	Adultes	<i>R. phoenicis</i>	Cameroun	Mari et OConnor (1999)
			Adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Indonésie, Malaisie, Philippines	Mari et OConnor (1999)
	<i>Anisolabis</i>	<i>maritima</i>	Œufs, larves et nymphes	<i>R. ferrugineus</i>	Arabie Saoudite	Abbas (2010)
	<i>Chelisoche</i>	<i>morio</i>	Œufs et larves	<i>R. ferrugineus</i>	Inde	Abraham et Kurian (1973)
	<i>Euborellia</i>	<i>annulipes</i>	Œufs	<i>R. ferrugineus</i>	Italie	Massa et Lo Verde, 2008, Mazza (données non publiées)
	<i>Platymeris</i>	<i>laevicollis</i>	Inconnu	<i>R. ferrugineus</i>	Sri Lanka	Reginald (1973)
	<i>Xylocorus</i>	<i>galactinus</i>	Œufs, larves et nymphes	<i>R. ferrugineus</i>	Arabie Saoudite	Abbas (2010)
	<i>Xanthopygus</i>	<i>cognatus</i>	Œufs et larves	<i>R. palmarum</i>	Équateur	Quezada et al. (1969)
<i>Sarcophaga</i>	<i>fuscicauda</i>	Adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Inde	Iyer (1940)	
Vertébrés	<i>Billea</i>	<i>rhynchoporae</i>	Nymphes	<i>R. palmarum</i>	Brésil	Moura et al. (2006)
		<i>maritima</i>	Nymphes	<i>R. ferrugineus</i>	Italie	Lo Verde et Massa (2007)
		<i>menezesi</i>	Nymphes	<i>R. palmarum</i>	Brésil	Moura et al. (1993)
	<i>Mégasélie</i>	<i>scalaire</i>	Nymphes	<i>R. ferrugineus</i>	Italie	Mazza (données non publiées)
	<i>Scolia</i>	<i>erratique</i>	Larves	<i>R. ferrugineus</i>	Malaisie	Burkill (1917)
	<i>Centropus</i>	<i>sinensis</i>	Inconnu	<i>R. ferrugineus</i>	Inde	Faleiro (2006b)
	<i>Dendrocitta</i>	<i>vagabunda parvula</i>	Adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Inde	Krishnakumar et Sudha (2002)
	<i>Pica</i>	<i>pica</i>	Inconnu	<i>R. ferrugineus</i>	Italie	Lo Verde et al. (2008)
	<i>Apodemus</i>	<i>sylvaticus</i>	Nymphes et adultes	<i>R. ferrugineus</i>	Itali	S. Longo (Pers. Com.)
	<i>Rattus</i>	<i>rattus</i>	Larves et nymphes	<i>R. ferrugineus</i>	e	Lo Verde et Massa (2007)
				Itali		
				e		

lorsque les insectes étaient forcés de patauger dans une suspension de cellules bactériennes. La mortalité survient huit jours après l'inoculation et les petites larves sont plus sensibles que les grandes (Banerjee et Dangar, 1995), probablement en raison de l'absence de composants cuticulaires antimicrobiens (Mazza et al., 2011a).

Salama et al. (2004) ont isolé trois bacilles sporulés puissants à partir de larves en Égypte. Les trois bactéries appartenaient au genre *Bacillus* et ont été identifiées comme des variantes de *B. sphaericus*, *Bacillus megaterium* de Bary et *Bacillus laterosporus* Laubach. Dans des conditions de laboratoire, la mortalité des larves se situait entre 40 et 60 %. La culture la plus active était celle de *B. sphaericus* qui produit des endospores sphériques et des endotoxines cristallines, probablement à l'origine de l'activité observée contre le RPW.

En Italie, *B. thuringiensis*, *B. sphaericus* et *B. megaterium* ont été isolés à partir d'animaux morts de Sicile, mais des essais biologiques préliminaires avec ces bactéries effectués sur des œufs ont montré un faible effet pathogène (Francesca et al., 2008) malgré l'absence de composés antimicrobiens sur les œufs (Mazza et al., 2011a).

4. Champignons

De nombreux champignons entomogènes sont relativement communs, provoquant souvent des épizooties, et peuvent donc être considérés comme un facteur important dans le contrôle des populations d'insectes. La plupart des espèces attaquant les insectes terrestres appartiennent aux Hyphomycètes et aux Entomophthorales. Contrairement à d'autres agents pathogènes des insectes, les champignons infectent généralement l'hôte par

contact, en pénétrant la cuticule de l'insecte (Butt et Goettel, 2000). L'hôte peut être infecté par (a) traitement direct, (b) transmission horizontale d'insectes ou de cadavres infectés à des insectes non traités, et (c) transmission horizontale d'insectes ou de cadavres infectés à des insectes non traités, et (d) transmission horizontale de cadavres à des insectes non traités.

(c) transmission verticale aux stades de développement suivants via la nouvelle génération de spores (Lacey et al., 1999 ; Quesada-Moraga et al., 2004).

Beauveria bassiana (Balsamo) Vuillemin et *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin sont deux des espèces de champignons entomopathogènes les plus couramment étudiées. *Beauveria* et *Metarhizium* sont tous deux des genres anamorphiques cosmopolites de champignons nécrotrophes facultatifs transmis par le sol et pathogènes pour les arthropodes (Bischoff et al., 2009 ; Rehner et al., 2011). Les deux ont fourni des résultats encourageants pour le contrôle microbien de certains ravageurs économiques des cultures (Jaronski, 2010). Les aspects les plus importants de l'exposition aux champignons entomopathogènes comprennent les effets sublétaux tels que l'altération du comportement alimentaire (p. ex. Tefera et Pringle, 2003) et du potentiel de survie et de reproduction de la progéniture (p. ex. Dembilio et al., 2010a).

El-Sufy et al. (2009) ont étudié la pathogénicité d'une souche indigène de *B. bassiana* isolée à partir de pupes et d'adultes de tordeuses de la pomme de terre des Émirats arabes unis. Ils ont constaté que la plupart des adultes mouraient entre la première et la deuxième semaine après le traitement et que les jeunes larves étaient plus sensibles que les vieilles ; ceci est en accord avec Mazza et al. (2011a) qui ont constaté un manque de composés cuticulaires antimicrobiens dans les petites larves. Cette souche a également été utilisée de manière efficace dans des pièges pour l'autodissémination dans les plantations de palmiers dattiers (El-Sufy et al., 2011).

Dembilio et al. (2010a) ont évalué le potentiel d'une souche indigène de *B. bassiana* obtenue à partir d'une chrysalide de tordeuse de la pomme de terre naturellement infectée en Espagne, à la fois en laboratoire et dans des essais semi-naturels. En plus des résultats de laboratoire montrant que cette souche peut infecter les œufs, les larves et les adultes de TBI, le champignon a efficacement transmis la maladie à des adultes non traités des deux sexes et a réduit la fécondité et l'éclosion des œufs. Par conséquent, les traitements contre *B. bassiana* devraient réduire les populations de ce ravageur à la fois par (a) la mortalité des charançons principalement infectés et par (b) des effets sublétaux sur la reproduction et sur la progéniture de ces adultes et de ceux qui sont en contact avec eux (Dembilio et al., 2010a ; Llácer et al., 2013). Sewify et al. (2009)

et Besse et al. (2011) ont rapporté des résultats intéressants, y compris une réduction considérable de la population de charançons du palmier, grâce à l'utilisation d'une souche indigène de *B. bassiana*, confirmant le rôle de ce champignon en tant qu'agent de biocontrôle prometteur. Une formulation solide de *B. bassiana* présentant une pathogénicité et une persistance élevées pour le charançon du palmier pourrait être appliquée à la fois comme traitement préventif et comme traitement curatif pour la lutte contre le charançon du palmier (Güerri-Agulló et al., 2011). Cependant, Abdel-Samad et al. (2011) ont rapporté qu'une formulation d'huile commerciale de *B. bassiana* avait peu d'effet sur les tordeuses de la pomme de terre, et n'était donc pas un bon candidat puisqu'elle est coûteuse pour une application sur le terrain. De plus, les extraits polaires d'adultes ont inhibé la germination des spores de *B. bassiana* obtenues à partir d'un produit commercial Naturalis® (Mazza et al., 2011a).

Francardi et al. (2012, 2013) ont montré que *M. anisopliae* isolé à partir de tordeuses de la pomme de terre en Italie avait la plus grande efficacité contre les larves et les adultes de tordeuses de la pomme de terre. Ceci est en accord avec Gindin et al. (2006) qui ont comparé l'entomopathogénicité des souches de *B. bassiana* et de *M. anisopliae* obtenues à partir de différentes sources et ont également montré la virulence supérieure de *M. anisopliae*. La méthode d'infection semble influencer la mortalité des larves et des adultes, avec une plus grande efficacité des spores sèches par rapport à l'application d'une suspension de spores aquatiques (Gindin et al., 2006).

M. anisopliae a également été isolé chez *R. bilineatus* en Nouvelle-Guinée après une infection accidentelle lors d'un traitement contre le scarabée *Scapanes australis* avec une formulation à base de

M. anisopliae (Prior et Arur, 1985). Cependant, *M. anisopliae* a été découvert dans des TBI naturellement infectés en Égypte et cette souche a provoqué un taux de mortalité élevé pour les stades larvaires et adultes uniquement dans des conditions de laboratoire (Merghem, 2011). Cito et al. (2014) ont très récemment rapporté la première découverte de *Metarhizium pingshaense* associé à des taupes royales au Vietnam, une zone d'origine de ce ravageur : ce champignon entomopathogène était capable de tuer les adultes en peu de temps grâce à une activité protéasique et une production de toxines efficaces.

Des colonies de *B. bassiana*, *Aspergillus* sp., *Fusarium* sp., *Metarhizium* sp., *Penicillium* sp. et *Trichothecium* sp. ont été isolées à partir de plusieurs stades de l'IPR dans le sud de l'Italie (Torta et al., 2009 ; Tarasco et al., 2008). L'une des dernières souches indigènes de *B. bassiana* s'est avérée utile pour la lutte contre les petites larves en laboratoire (Torta et al., 2009).

5. Nématodes

L'intérêt pour l'utilisation des nématodes en tant qu'agents biologiques de lutte contre les ravageurs a augmenté de manière exponentielle au cours des deux dernières décennies. En effet, les chercheurs explorent le potentiel des nématodes pour lutter contre les insectes nuisibles, les mollusques, les nématodes végétaux et même les pathogènes végétaux transmis par le sol (Grewal et al., 2005).

La faune nématode associée à *R. palmarum* a été étudiée en raison de son importance pratique concernant la maladie des anneaux rouges, mais l'une des autres espèces de *Rhynchophorus* n'a pas fait l'objet d'une étude efficace. Outre *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb) Baujard (le nématode à anneaux rouges, agent causal de la maladie des anneaux rouges des palmiers dans les régions néotropicales), (Giblin-Davis, 1993), *B. gerberae* Giblin Davis et al, *Caenorhabditis angaria* Sudhaus, Kiontke et Giblin-Davis, et *Mononchoides* sp. ont été signalés à partir de *R. palmarum*. *R. palmarum* (Gerber et Giblin-Davis, 1990a,b ; Giblin-Davis et al.,

2006 ; Kanzaki et al., 2008 ; Sudhaus et al., 2011). D'autres nématodes n'ayant apparemment pas d'effets néfastes sur les charançons du palmier sont connus de trois espèces de *Rhynchophorus* : *Acrostichus rhynchophori* Kanzaki et al. (nommé *Diplogasteritus* dans des publications plus anciennes ; Kanzaki et al., 2009) et *Teratorhabditis palmarum* Gerber et Giblin-Davis ont été isolés de *R. palmarum* et *R. cruentatus* (Gerber et Giblin-Davis, 1990b), tandis que *Teratorhabditis synpapillata* Sudhaus a été isolé de RPW au Japon et en Inde (Kanzaki et al., 2008). Récemment, *Mononchoides* sp., *Teratorhabditis* sp. et *Koerneria* sp.

ont été isolés à partir de pupes et d'adultes de TPP dans le sud de l'Italie, mais des études sont en cours pour identifier les espèces, clarifier leur biologie, le type d'association avec les TPP et leurs effets possibles en tant qu'agents de biocontrôle (Oreste et al., 2013).

Parmi les espèces parasites, *Praecocilenchus rhabdiphorus* Poinar a été isolé de *R. bilineatus* en Nouvelle-Bretagne et en Papouasie-Nouvelle-Guinée (Poinar, 1969), tandis que *P. ferruginophorus* Rao et Reddy a été isolé de RPW en Inde (Rao et Reddy, 1980). Cette dernière espèce a été trouvée dans la trachée, l'intestin et le tissu adipeux des larves et dans l'utérus et l'hémocoelome des adultes de tigres royaux. Les nématodes sont probablement libérés lorsque les femelles infectées pondent, mais ils peuvent aussi passer dans les fèces par l'intestin. Les ovaires des charançons parasités sont endommagés, ce qui peut avoir des conséquences sur la production d'œufs (examiné par Triggiani et Cravedi, 2011). Étant donné qu'il n'y a que quelques légères différences morphologiques entre les *P. rhabdiphorus* et *P. ferruginophorus*, des analyses complémentaires sont nécessaires pour établir s'ils sont conspécifiques (Rao et Reddy, 1980).

Les nématodes entomopathogènes (EPN) sont des parasites obligatoires létaux des insectes. Ils sont omniprésents et appartiennent aux familles Heterorhabditidae et Steinernematidae. Ces familles ne sont pas étroitement liées sur le plan phylogénétique, mais partagent des cycles de vie similaires grâce à une évolution convergente. Ces nématodes sont porteurs de bactéries pathogènes spécifiques, *Photorhabdus* pour les Heterorhabditidae et *Xenorhabdus* pour les Steinernematidae, qui sont libérées dans l'hémocoelome de l'insecte après pénétration de l'insecte hôte dans le stade infectieux du nématode. Peu de nématodes entomopathogènes ont été recensés comme infectant naturellement les espèces de *Rhynchophorus*. *Steinernema* sp. a été extrait d'adultes de *Rhynchophorus* naturellement infectés dans la province orientale de l'Arabie saoudite (Saleh et al., 2011). Les essais biologiques en laboratoire et les essais semi-naturels ont montré une virulence élevée de ce nématode contre les adultes de *Rhynchophorus* ; en particulier, les résultats sur le terrain ont mis en évidence l'importance de la température puisque les nématodes entomopathogènes sont très sensibles aux températures élevées *in primis*, au rayonnement ultraviolet élevé et à une faible humidité relative (Saleh et al., 2011).

Des résultats encourageants ont été obtenus avec un autre *Steinernema* sp. isolé à partir de pupes et d'adultes de TBI en Egypte ; cette souche a été testée avec deux autres isolats locaux du même genre contre les larves et les adultes à la fois au laboratoire et au champ (Shamseldean et Atwa, 2004). Au laboratoire, la plupart des nématodes étaient pathogènes pour les larves, les nymphes et les adultes, tandis qu'au champ, l'utilisation de l'EPN n'a pas permis de lutter contre le ravageur, notamment en raison du temps chaud et de l'inondation par la sève du site infesté (Abbas et al., 2001b).

L'association fréquente entre les TPP et d'autres organismes peut interférer avec les techniques de gestion : la prédation par des acariens tels que *Centrouropoda almerodai* Wisniewski et Hirschmann, étroitement associés aux TPP, en particulier en Italie (Mazza et al., 2011b), peut réduire l'efficacité du nématode *Steinernema carpocapsae* (Weiser) (Morton et Garcia-del-Pino, 2011). L'utilisation de chitosane comme adjuvant peut protéger les nématodes, en particulier *S. carpocapsae*, des conditions environnementales, augmentant ainsi la durée de la période d'efficacité de cet ennemi naturel (Llácer et al., 2009 ; Dembilio et al., 2010b).

Cependant, des différences significatives ont été observées dans la mortalité des différents stades de vie des TBI lorsqu'ils sont associés à différentes concentrations et espèces de nématodes. Par exemple, *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar était le plus virulent contre les larves et les adultes de

tigres royaux, dans des essais de laboratoire réalisés en Italie, et était le seul nématode qui développait toujours de nouvelles générations dans les adultes de tigres royaux (Triggiani et Tarasco, 2011). Cela concorde avec les résultats obtenus pour *H. bacteriophora* isolé à partir de spécimens de tigres royaux en Turquie, qui a provoqué des taux de mortalité considérables des larves (69 %) et des nymphes (80 %). Néanmoins, peu d'adultes ont été attaqués, ce qui limite son potentiel en tant qu'agent de biocontrôle (Atakan et al., 2009a). Récemment, Manachini et al. (2013) ont découvert que *S. carpocapsae*

n'a pas été encapsulé par les hémocytes de l'EPR. Il est donc nécessaire d'étudier l'absence de reproduction de certaines espèces d'EPN dans les larves et les adultes de l'EPR.

6. Acariens

De nos jours, les acariens sont utilisés de diverses manières pour la lutte biologique, avec un nombre croissant d'espèces vendues dans le monde entier. Ils s'attaquent à tous les stades de développement et plusieurs espèces sont élevées en masse à des fins commerciales pour lutter contre les acariens, les insectes, les nématodes et les mollusques nuisibles (ainsi que les mauvaises herbes nuisibles) dans les serres et les cultures de plein champ (Orr et Suh, 2000).

En 1966, Wattanapongsiri a passé en revue les acariens associés aux charançons du palmier des genres *Dynamis* et *Rhynchophorus*. Ces acariens appartenaient à plusieurs familles telles que Acaridae, Anoetidae, Blattisociidae, Diplogyniidae, Macrochelidae et Uropodidae.

Après les récentes colonisations de RPW, en particulier dans la région méditerranéenne, plusieurs auteurs ont rapporté la présence d'espèces d'acariens de plusieurs familles associées à ce ravageur en Égypte (El-Sharabasy, 2010 ; Hassan et al, 2011), en Italie (Longo et Ragusa, 2006), à Malte (Porcelli et al., 2009), en Arabie saoudite (Al-Dhafar et Al-Qahtani, 2012), en Turquie (Atakan et al., 2009b) et aux Émirats arabes unis (Al-Deeb et al., 2012). Les espèces les plus courantes sont phorétiques et appartiennent principalement aux Uropodina (Wattanapongsiri, 1966 ; Longo et Ragusa, 2006 ; Atakan et al., 2009b ; Porcelli et al., 2009 ; El-Sharabasy, 2010 ; Al-Deeb et al., 2012). Des acariens phorétiques ont également été signalés pour *R. phoenicis* (Kontschán et al., 2012) et *R. palmarum* (Rodríguez-Morell et al., 2012).

Certains acariens parasites peuvent être associés aux espèces de *Rhynchophorus*, y compris les acariens podapolides ectoparasites (examinés dans Husband et OConnor, 1999) tels que *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) sur *R. palmarum*, *Rhynchopolipus brachycephalus* Husband et OConnor sur *R. phoenicis*, et *Rhynchopolipus swiftae* Husband et OConnor sur *R. ferrugineus*.

Hypoaspis sp. et *R. rhynchophori* ont été trouvés en association avec *R. ferrugineus*, mais le statut de ces espèces en tant que parasites, *sensu* Peter (1989), reste incertain (Nannelli R, obs. pers.). En revanche, Abdullah (2009) a rapporté l'utilisation réussie de *R. rhynchophori* comme agent de biocontrôle contre le RPW. D'autres espèces (par exemple *Iphidosoma* sp.) signalées par El-Sharabasy (2010), Hassan et al. (2011) et Al-Dhafar et Al-Qahtani (2012) nécessitent des études plus approfondies pour leur identification correcte et l'élucidation de leur véritable relation avec les tordeuses de la pomme de terre.

7. Insectes

Les insectes parasitoïdes et prédateurs sont utilisés depuis des siècles dans la lutte contre les insectes nuisibles, car ils sont les ennemis naturels de différents stades de vie. Cependant, leur utilisation en tant que contrôle biologique est restée largement inexploitée pour plusieurs raisons (par exemple, nombre limité d'espèces non ciblées, informations taxonomiques insuffisantes, nombreuses réglementations concernant la collecte et l'application), bien qu'ils soient la solution principale dans tout programme de lutte contre les ravageurs après évaluation de l'équilibre entre les risques et les avantages associés à l'introduction d'agents de contrôle biologique exotiques (De Clercq et al., 2011). Les ennemis naturels du *Rhynchophorus* comprennent plusieurs espèces appartenant aux ordres des dermaptères, des héteroptères, des coléoptères, des diptères et des hyménoptères (Murphy et Briscoe, 1999).

Parmi les perce-oreilles, *Chelisoche morio* (Fabricius) a été signalé comme un prédateur commun des œufs et des larves de TBI dans la canopée des plantations de cocotiers en Inde (Abraham et Kurian, 1973), et *Euborellia annulipes* (Lucas) a été trouvé dans des palmiers infestés de TBI en Sicile (Massa et Lo Verde, 2008). Ce dernier perce-oreille cosmopolite est un important insecte prédateur de diverses proies telles que les chenilles,

Des larves de coléoptères (également des charançons), des cicadelles (Klostermeyer, 1942) et des oeufs de tordeuse orientale du pêcher en laboratoire (Mazza G, non publié). Reginald (1973) a signalé une occurrence occasionnelle de l'insecte prédateur *Platymiris laevis* Distant sur les tordeuses de la pomme de terre ; cet hémiptère, importé au Sri Lanka contre *Oryctes rhinoceros* (L.), semble préférer les tordeuses de la pomme de terre.

Quelques coléoptères prédateurs sont associés aux espèces de *Rhynchophorus*. Par exemple, les larves et les adultes du scarabée *Xanthopygus cognatus* Sharp. sont des prédateurs d'oeufs et de larves de *R. palmarum* ; cependant, malgré sa préférence alimentaire pour le charançon du cocotier, il est un monophage facultatif et peut manger d'autres proies lorsque les charançons ne sont pas disponibles (Quezada et al., 1969).

Les parasitoïdes sont présents dans cinq ordres d'insectes holométaboles, mais les parasitoïdes de Diptères et d'Hyménoptères sont les mieux connus, comprenant respectivement 20% et 78% de toutes les espèces estimées (Feener et Brown, 1997). Parmi les Diptères, quelques espèces de Sarcophagidae et de Tachinidae exploitent des espèces de *Rhynchophorus* comme hôtes (Murphy et Briscoe, 1999). *Sarcophaga fuscicauda* Botcher a attaqué des adultes de RPW dans le sud de l'Inde (Iyer, 1940). Ces mouches prédatrices et parasites sont principalement larvipares et se nourrissent généralement des larves et des adultes de l'hôte. En revanche, les larves de Tachinidae sont toutes des parasites internes, principalement des larves de Lépidoptères et de Coléoptères. Comme elles ont généralement une gamme d'hôtes très étroite, plusieurs espèces ont été utilisées avec succès dans des programmes classiques de lutte biologique (Murphy et Briscoe, 1999). *Billaea menezesi* (Townsend) est un parasitoïde grégaire de *R. palmarum* (avec un nombre moyen d'environ 18 pupes par coléoptère hôte) et a été observé dans des plantations de palmiers à huile au Brésil (Moura et al., 1993). Le niveau de parasitisme était d'environ 50% et cette mouche tachinide a été observée tout au long de l'année, ce qui est encourageant pour son utilisation dans la lutte intégrée (Moura et al., 1993). Une autre mouche tachinide, *Billaea rhynchophorae* (Blanchard), a été signalée par Guimarães (1977) comme parasitoïde de *R. palmarum* au Brésil, avec un parasitisme moyen de 40% (Moura et al., 2006). Malheureusement, l'élevage de masse de cette mouche n'a pas été possible en raison du manque d'informations sur son cycle biologique. Cependant, la mise en place d'un grand nombre de cocons de *R. palmarum* dans une cage en filet à mailles serrées a permis de collecter des parasitoïdes et de les relâcher par la suite (Moura et al., 2006). Des essais de laboratoire réalisés en Colombie avec deux autres espèces de mouches tachinides, *Paratheresia claripalpis* Van der Wulp et *Metagonistylum minense* Townsend, ont révélé que les larves de *R. palmarum* n'étaient pas utilisées comme hôtes après 12 jours (Blandón et Viáfara, 2008). En Sicile, Lo Verde et Massa (2007) ont signalé, pour la première fois en Italie, la présence d'un parasitoïde autochtone de coléoptères cétonidés, *Billaea maritima* (Schiner), sur des pupes de RPW, bien qu'aucune étude n'ait été menée sur cette mouche. En outre, le phoride générique, *Megaselia scalaris* (Loew), a été récemment découvert dans des pupes de tordeuse orientale du pin de Sicile (Mazza G, non publié).

Parmi les hyménoptères, *Scolia erratica* Smith a été trouvé en Malaisie comme parasitoïde de RPW (Burkill, 1917), mais aucune donnée biologique n'a été publiée sur cette guêpe. D'autres études sont nécessaires car les guêpes scoliides ont été utilisées avec succès comme agents de lutte biologique classique car les larves se nourrissent de manière ectoparasitaire sur les larves de Scarabaeidae et, plus rarement, de grands Curculionidae (Murphy et Briscoe, 1999). Des études plus approfondies sont nécessaires pour déterminer si la *Megascolia*

G. Mazza et al / Biological Control (2018) 150, 1–10
10
laevis (Fabricius) autochtone, communément trouvée dans les 93 palmiers infestés en Sicile, peut utiliser les larves de RPW comme hôtes (Longo S, obs. pers.).

8. Vertébrés

Outre les agents de biocontrôle classiques tels que les bactéries, les champignons et les nématodes, certains vertébrés (oiseaux et mammifères) sont signalés comme mangeant des tordeuses de la pelouse. Krishnakumar et Sudha (2002) ont remarqué que l'oiseau indien *Dendrocitta vagabunda parvula* (Whistler et Kinnear),

se nourrit d'adultes de tigres royaux. Le faisan corbeau, *Centropus sinensis* Stephens, un mangeur opportuniste, a également été signalé comme étant un mangeur de taupes royales (Faleiro, 2006b). En Italie, seule la pie eurasiennne, *Pica pica* L., est connue pour manger des tigres royaux (Lo Verde et al., 2008).

Plusieurs pupes et adultes de tordeuses de la pomme de terre ont été la proie de deux mammifères, *Rattus rattus* et *Apodemus sylvaticus*, dans des palmiers infestés en Sicile (Lo Verde et Massa, 2007 ; Longo S, obs. pers.). Cependant, le rôle de ces prédateurs fortuits contre les TPP est très limité et il s'agit plus d'une curiosité biologique que d'une réelle opportunité d'utilisation.

9. Conclusion et perspectives d'avenir

Même si les nombreux ennemis naturels des espèces de *Rhynchophorus* n'ont pas réussi à stopper la propagation du ravageur, la lutte biologique contre les espèces de *Rhynchophorus* devrait être considérée comme l'un des outils prometteurs d'une stratégie IPM pour lutter contre certains de ces charançons du palmier. Bien que de nouvelles connaissances sur la relation entre les ravageurs et leurs ennemis potentiels aient été acquises ces dernières années et aient ouvert de nouvelles voies de recherche pour trouver de nouvelles stratégies de lutte contre les ravageurs, il reste encore beaucoup à faire avant que la lutte biologique puisse commencer à donner des résultats.

Des études de terrain approfondies seront nécessaires pour identifier les agents de lutte biologique à la fois dans les aires de répartition indigènes et introduites, ainsi que ceux liés à des espèces de *Rhynchophorus* apparemment non nuisibles. Sur la base du dépistage rapporté ici, une attention particulière devrait être accordée aux agents de biocontrôle fongiques. Par exemple, la découverte récente de *M. pingshaense* associé au RPW au Vietnam, zone d'origine de cet insecte, a montré que ce champignon est capable de tuer 100 % des adultes en quelques jours lors d'essais en laboratoire (Cito et al., 2014). Il est évident qu'en raison de l'inquiétude suscitée par l'importation et la dissémination d'ennemis naturels exotiques et des exigences accrues en matière d'évaluation et d'enregistrement, la tendance actuelle est de rechercher d'abord des ennemis naturels indigènes lorsqu'un nouveau ravageur exotique s'établit. Comme le montre l'augmentation de la lutte biologique, plusieurs agents de lutte biologique exotiques populaires ont récemment été remplacés par des agents indigènes (van Lenteren, 2012). Néanmoins, comme l'ont constaté Cito et al. (2014), un champignon indigène tel que *M. anisopliae* MET 08/105 associé à l'IPR en Italie, une zone d'introduction récente, a également montré un taux de mortalité similaire contre les insectes adultes lors d'essais en laboratoire, avec des profils enzymatiques et toxicologiques différents de ceux de *M. pingshaense*, suggérant une activité de virulence différente, mais tous deux efficaces contre ce ravageur.

Des études plus approfondies sont nécessaires pour identifier et

l'utilisation pratique des virus, en particulier dans le cadre d'une approche de lutte intégrée contre les ravageurs, en tenant compte également de leur interférence possible avec d'autres agents de biocontrôle tels que les nématodes : la survie des nématodes entomopathogènes, tels que *Heterorhabditis* et *Steinernema*, est en effet progressivement et négativement affectée par une augmentation de la suspension virale (Salama et Abd-Elgawad, 2002).

Le potentiel des bactéries pour contrôler les espèces de *Rhynchophorus* n'est connu que pour les TBI, mais avec des résultats contradictoires qui dépendent probablement de l'espèce bactérienne et des niveaux de virulence. Un rôle important dans la prévention des infections bactériennes pourrait être joué par la fraction de surface polaire des extraits d'adultes et de grandes larves de TBI qui inhibe les bactéries Gram-positives telles que

le produit commercial de *B. thuringiensis* (Mazza et al., 2011a). Cet aspect mérite donc de futures investigations et l'utilisation potentielle de bactéries pathogènes tiendrait compte de la forte activité antimicrobienne démontrée par plusieurs stades de la TBI (Mazza et al., 2011a). Les données sur ces agents étant peu nombreuses, des souches pathogènes naturelles plus virulentes devraient être identifiées et leur efficacité en matière de pathogénicité améliorée.

L'utilisation de champignons, en particulier de souches indigènes telles que

B. bassiana et *M. anisopliae*, obtenus à partir d'une plante naturellement infectée.

Les TPP devraient être sérieusement pris en compte dans la lutte biologique, notamment en raison de leurs effets sublétaux. Les champignons sont particulièrement adaptés à la lutte contre les insectes cachés et agrégés, tels que les espèces de *Rhynchophorus*, et ce pour plusieurs raisons. En Italie et dans d'autres pays européens, les ravageurs se répandent dans des contextes urbains caractérisés par de faibles niveaux de biodiversité, et l'utilisation de champignons pourrait être mise en œuvre dans ces zones en raison du spectre multicolore restreint de ces agents et de l'absence d'effets nocifs sur la santé humaine. En outre, leur utilisation pourrait également améliorer d'autres méthodes de contrôle, telles que la technique de l'insecte stérile (TIS), en propageant le pathogène au sein d'une population déjà établie, comme le suggèrent Llácer et al. (2013). Des recherches spécifiques sont également nécessaires pour isoler des souches plus virulentes (voir Cito et al., 2014) et pour déterminer les conditions optimales de l'épizootie fongique dans les populations de charançons.

Les nématodes entomopathogènes peuvent constituer un moyen de lutte biologique efficace contre certains ravageurs importants des cultures commerciales (Burnell et Stock, 2000). Ils possèdent de nombreux atouts pour être un bon agent de lutte biologique : ils sont sans danger pour l'environnement et acceptables, ils peuvent être produits en grandes quantités en laboratoire et être facilement appliqués sur le terrain (Liu et al., 2000). La gestion des ravageurs du palmier à l'aide de nématodes entomopathogènes est potentiellement fructueuse, mais malheureusement plusieurs facteurs affectent négativement leur utilisation dans les programmes de gestion intégrée des ravageurs appliqués à la lutte contre les ravageurs. Il semble crucial d'approfondir les aspects concernant l'isolement des nématodes locaux, de maintenir leur vitalité, leur infectiosité et leur virulence, et de découvrir le mécanisme de défense inhibant la reproduction de certaines espèces d'EPN dans les organismes des TPP. En outre, l'application systématique et fréquente de traitements et leurs coûts devraient être pris en considération pour la gestion des charançons.

Le rôle écologique possible de la plupart des acariens est encore mal connu et des études sur le terrain et en laboratoire pourraient évaluer leurs habitudes alimentaires et leur utilisation potentielle en tant qu'agents de biocontrôle. Certains auteurs ont émis l'hypothèse que certains acariens associés au charançon rouge du palmier ne sont pas simplement phorétiques et que leur présence pourrait affecter la condition physique du charançon rouge du palmier en réduisant sa durée de vie (p. ex. Mazza et al. 2011b) ou en entravant son comportement de vol (Atakan et al., 2009b). Il est intéressant de considérer, principalement dans les zones de nouvelle introduction du charançon rouge, la forte densité d'acariens Uropodine porteurs de spores fongiques, associés aux charançons et habitant les palmiers (Mazza G., obs. pers.) : les acariens peuvent exercer un effet double/composite en surchargeant et en limitant la diffusion de l'insecte et en augmentant la dissémination des agents fongiques.

Parmi les insectes parasitoïdes et prédateurs, seuls les diptères méritent une considération favorable, comme cela a été démontré pour *B. menezesi* contre le *R. palmarum*. Le niveau de parasitisme était élevé et cet ennemi naturel a été observé tout au long de l'année, ce qui est encourageant pour son utilisation en tant que composante de la lutte intégrée contre les ravageurs. L'efficacité de la technique d'élevage en masse des Diptères parasitoïdes sera améliorée par leur identification correcte et l'étude de leurs cycles biologiques.

D'après les données présentées, les agents fongiques de biocontrôle semblent être les meilleurs agents de biocontrôle : ils correspondent aux lignes directrices de biocontrôle à la fois en termes d'attributs et de perspective/contexte d'utilisation. Pour *R. ferrugineus*, en particulier, outre les raisons des besoins sanitaires, les contextes urbains et périurbains où la présence de

les ravageurs peut se propager, restreignent le spectre des hôtes cibles possibles, ce qui réduit les actions multicolores et superposées de ces agents. Il peut s'agir d'un moyen d'éviter l'association/la concurrence avec des connexions complexes dans les communautés, de simplifier les protocoles d'application de ces stratégies et de limiter au maximum le déséquilibre de l'environnement.

La lutte biologique contre le charançon du palmier *Rhynchophorus* ne saurait être un objectif utopique ou coûteux, du moins en association avec d'autres techniques visant à mettre en place des stratégies de lutte durables et respectueuses de l'environnement. Cependant, la gamme d'hôtes

Les tests et les évaluations des risques des agents les plus prometteurs devraient recevoir une priorité élevée afin d'éviter toute menace potentielle après la dissémination pour les espèces non ciblées dans les zones introduites. Une surveillance à long terme est également nécessaire pour évaluer l'impact des agents de lutte biologique sur les communautés végétales et animales nouvellement envahies.

Remerciements

Nous sommes très reconnaissants à Elena Tricarico pour ses suggestions et commentaires exhaustifs et à Peter Christie pour la révision anglaise. Nous remercions Josep A. Jacas et Óscar Dembilio pour la révision du manuscrit. Nous tenons à remercier Mauro Gori pour l'identification des diptères associés au RPW.

La recherche a été soutenue par une subvention accordée à Giuseppe Mazza par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Forêts (MiPAAF) dans le cadre du projet national "Protection des palmiers ornementaux et indigènes contre l'invasion biologique du charançon rouge du palmier - PROPALMA" (D.M. 25618/7301/11, 2012/12/01).

Références

- Abbas, M.S.T., Hanounik, S.B., Mousa, S.A., Mansour, M.I., 2001a. Pathogénicité de *Steinernema abbasi* et *Heterorhabditis indicus* isolés de *Rhynchophorus ferrugineus* adultes. *Int. J. Nematol.* 11, 69-72.
- Abbas, M.S.T., Saleh, M.M.E., Akil, A.M., 2001b. Laboratory and field evaluation of the pathogenicity of entomopathogenic nematodes to the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) (Col. : Curculionidae). *J. Pest Sci.* 74, 167-168.
- Abbas, M.S.T., 2010. IPM of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. In : Ciancio, A., Mukerji, K.G. (Eds.), *Integrated Management of Arthropod Pests and Insect Borne Diseases*. Springer, pp. 209-233.
- Abdel-Samad, S.S.M., Mahmoud, B.A., Abbas, M.S.T., 2011. Évaluation du champignon *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill comme agent de bio-contrôle contre le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) (Coleoptera : Curculionidae). Égypte. *J. Biol. Pest Control* 21, 125-129.
- Abdullah, M.A.R., 2009. Lutte biologique contre le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera : Curculionidae) par l'acarien parasitoïde *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) (Acarina : Podapolipidae). *J. Egypt. Soc. Parasitol.* 39, 679-686.
- Abraham, V.A., Kurian, C., 1973. *Chelisoche morio* F. (Forficulidae : Dermaptera), un prédateur des oeufs et des larves de premier stade du charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* F. (Curculionidae : Coleoptera). *J. Plant Crops* 1, 147-152.
- Al-Deeb, M., Muzaffar, S.B., Abuagla, A.M., Sharif, E.M., 2012. Distribution et abondance des acariens phorétiques (Astigmata, Mesostigmata) sur *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera : Curculionidae). *Florida Entomol.* 94, 748-755.
- Al-Dhafar, Z.M., Al-Qahtani, A.M., 2012. Mites associated with the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver in Saudi Arabia with a description of a new species (Acariens associés au charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver en Arabie Saoudite et description d'une nouvelle espèce). *Acarines* 6, 3-6.
- Alfazariy, A.A., 2004. Notes sur la capacité de survie de deux entomopathogènes naturels sur le charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera : Curculionidae). Égypte. *J. Biol. Pest Control* 14, 423.
- Alfazairy, A.A., Hendi, R., El-Minshawy, A.M., Karam, H.H., 2003. Agents entomopathogènes isolés de 19 insectes nuisibles coléoptères en Égypte. Égypte. *J. Biol. Pest Control* 13, 125.
- Atakan, E., Elekçiog˘lu, H., Gözel, U., Günes, Ç., Yüksel, O., 2009a. Premier rapport d'*Heterorhabditis bacteriophora* (Poinar, 1975) (Nematoda : Heterorhabditidae) isolé du charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1970) (Coleoptera : Curculionidae) en Turquie. *Bull. OEPP* 39, 189-193.
- Atakan, E., Çobanoğlu, S., Yüksel, O., Ali Bal, D., 2009b. Kirmizi palmyeböcegi [*Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera : Curculionidae)] üzerinde foretik uropodid akarlar (Acarina : Uropodidae). *Türkiye Entomoloji Dergisi - Turk. J. Entomol.* 33, 93-105.
- Banerjee, A., Dangar, T.K., 1995. *Pseudomonas aeruginosa* a facultative pathogen of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 11, 618-620.
- Banu, J.G., Rajendran, G., 2002. Host records of an entomopathogenic nematode *Heterorhabditis indica*. *Insect Environ.* 8, 61-63.
- Banu, J.G., Rajendran, G., 2003. Nématodes associés au charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* L. au Kerala. *J. Exp. Zool.* 6, 99-100.
- Banu, J.G., Rajendran, G., Subramanian, S., 2003. Susceptibilité du charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) aux nématodes entomopathogènes. *Ann. Plant Prot. Sci.* 11, 104-106.
- Besse, S., Crabos, L., Panchaud, K., 2011. Efficacité de 2 souches de *Beauveria bassiana* sur le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus*. In : AFPP- Neuvième Conférence Internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier,

France, pp. 404-409.

Bischoff, J.F., Rehner, S.A., Humber, R.A., 2009. A multilocus phylogeny of the Lignée de *Metarhizium anisopliae*. *Mycologia* 101, 512-530.

Blandón, M.M., Viáfara, J.D., 2008. Evaluación de *Paratheresia claripalpis* y *Metagonistylum minense* como posibles parasitoides de larvas de

- Rhynchophorus palmarum*, bajo condiciones de laboratorio en el municipio de Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia. *Bioetnia* 5, 110-114.
- Bouchard, P., Bousquet, Y., Davies, A.E., Alonso-Zarazaga, M.A., Lawrence, J.F., Lyal, C.H.C., Newton, A.F., Reid, C.A.M., Schmitt, M., S'lipin' ski, S.A., Smith, A.B.T., 2011. Les noms de groupes de familles chez les coléoptères (Insecta). *ZooKeys* 88, 1-972.
- Burkill, I.H., 1917. *Scolia erratica* Smith, un parasite du charançon rouge du cocotier, *Rhynchophorus ferrugineus*. *Straits Settlements Garden Bull.* 1, 399-400.
- Burnell, A.M., Stock, S.P., 2000. *Heterorhabditis*, *Steinernema* and their bacterial symbionts-lethal pathogens of insects. *Nematology* 2, 31-42.
- Butt, T.M., Goettel, M.S., 2000. Bioassays of entomogenous fungi. In : Navon, A., Ascher, K.R.S. (Eds.), *Bioassays of Entomopathogenic Microbes and Nematodes*. CABI, pp. 141-195.
- Cito, A., Mazza, G., Strangi, A., Benvenuti, C., Barzanti, G.P., Dreassi, E., Turchetti, T., Francardi, V., Roversi, P.F., 2014. Caractérisation et comparaison des souches de *Metarhizium* isolées de *Rhynchophorus ferrugineus*. *FEMS Microbiol. Lett.* 355, 108-115.
- Dangar, T.K., 1997. Infection du charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* par une levure. *J. Plant Crops* 25.
- Dangar, T.K., Banerjee, A., 1993. Infection du charançon rouge du palmier par des pathogènes microbiens. In : Nair, M.K., Khan, H.H., Gopalasundaram, P., Bhaskara Rao, E.V.V. (Eds.), *Advances in Coconut Research and Development*. Oxford IBM Publishing Co., New Delhi, pp. 531-533.
- De Clercq, P., Mason, P.G., Babendreier, D., 2011. Avantages et risques des agents de contrôle biologique exotiques. *Biocontrol* 56, 681-698.
- Dembilio, Ó., Quesada-Moraga, E., Santiago-Álvarez, C., Jacas, J.A., 2010a. Potentiel d'une souche indigène du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* comme agent de lutte biologique contre le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus*. *J. Invertebr. Pathol.* 104, 214-221.
- Dembilio, Ó., Llácer, E., Martínez de Altube, M.M., Jacas, J.A., 2010b. Efficacité sur le terrain de l'imidaclopride et de *Steinernema carpocapsae* dans une formulation de chitosane contre le charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera : Curculionidae) dans *Phoenix canariensis*. *Pest Manag. Sci.* 66, 365-370.
- El-Minshawy, A.M., Hendi, R.A., Gadelhak, G.G., 2005. Viabilité du virus de la polyhédrose stockée du charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera : Curculionidae). In : Conférence internationale FAO/AIEA sur la lutte contre les insectes ravageurs à l'échelle de la zone : Integrating the Sterile Insect and Related Nuclear and Other Techniques, Vienne, Autriche, pp. 241-242.
- El-Sharabasy, H.M., 2010. Enquête sur les espèces d'acariens associées au charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliver, en Égypte. *Égypte. J. Biol. Pest Control* 20, 67-70.
- El-Sufty, R., Al-Awash, S.A., Al Bgham, S., Shahdad, A.S., Al Bathra, A.H., 2009. Pathogénicité du champignon *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill pour le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) (Col.:Curculionidae) dans des conditions de laboratoire et de terrain. *Égypte. J. Biol. Pest Control* 19, 81-85.
- El-Sufty, R., Al Bgham, S., Al-Awash, S., Shahdad, A., Al Bathra, A., 2011. Un piège pour l'autodissémination du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* par les adultes du charançon rouge du palmier dans les plantations de palmiers dattiers. *Égypte. J. Biol. Pest Control* 21, 271-276.
- Faleiro, J.R., 2006a. Examen des problèmes et de la gestion du charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera : Rhynchophoridae) dans les cocotiers et les palmiers dattiers au cours des cent dernières années. *Int. J. Trop. Insect Sci.* 26, 135-154.
- Faleiro, J.R., 2006b. Insight into the management of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier : Based on experiences on coconut in India and date palm in Saudi Arabia. In : I Jornada Internacional sobre el Picudo Rojo de las Palmeras, 2005, Fundación Agroalimed, Valencia, Espagne, pp. 35-57.
- Feener Jr, D.H., Brown, B.V., 1997. Diptera as parasitoids. *Ann. Rev. Entomol.* 42, 73-97.
- Flexner, J.L., Belnavis, D.L., 2000. Microbial insecticides. In : Rechcigl, N.A., Rechcigl, J.E. (Eds.), *Biological and Biotechnological Control of Insect Pests*. Lewis Publishers, Boca Raton, New York, pp. 35-62.
- Francardi, V., Benvenuti, C., Roversi, P.F., Rumine, P., Barzanti, G., 2012. Entomopathogénicité de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. et *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin isolés de différentes sources dans la lutte contre *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera Curculionidae). *Redia* XVC, 49-55.
- Francardi, V., Benvenuti, C., Barzanti, G.P., Roversi, P.F., 2013. Piège d'autocontamination avec des champignons entomopathogènes : une stratégie possible dans le contrôle de *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera Curculionidae). *Redia* 96, 57-67.
- Francesca, N., Caldarella, C.G., Moschetti, G., 2008. Indagini preliminari su bacilli sporigeni associati adulti di Punteruolo rosso e loro possibili impieghi in lotta biologica. In : La ricerca scientifica sul punteruolo rosso e gli altri fitofagi delle palme in Sicilia, Regione Siciliana-Assessorato Agricoltura e Foreste Dipartimento Interventi Infrastrutturali, Servizi allo Sviluppo, Vol. I, pp. 69-72.
- Gerber, K., Giblin-Davis, R.M., 1990a. Association of the red ring nematode and other nematode species with the palm weevil, *Rhynchophorus palmarum*. *J. Nematol.* 22, 143-149.
- Gerber, K., Giblin-Davis, R.M., 1990b. *Teratorhabditis palmarum* n. sp. (Nemata : Rhabditidae) : un associé de *Rhynchophorus palmarum* et *R. cruentatus*. *J. Nematol.* 22, 337-347.
- Ghazavi, M., Avand-Faghhi, A., 2002. Isolation of two entomopathogenic fungi on red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) (Coleoptera : Curculionidae) in Iran. *Appl. Entomol. Phytopathol.* 69, 44-45.

- Giblin-Davis, R.M., Oehlschlager, A.C., Perez, A., Gries, G., Gries, R., Weissing, T.J., Chinchilla, C.M., Pena, J.E., Hallett, R.H., Pierce Jr, H.D., Gonzalez, L.M., 1996. Chemical and behavioral ecology of palm weevils (Curculionidae : Rhynchophorinae). *Florida Entomol.* 79, 153-167.
- Giblin-Davis, R.M., Kanzaki, N., Ye, W., Center, B.J., Thomas, W.K., 2006. Morphologie et systématique de *Bursaphelenchus gerberae* n. sp. (Nematoda : Parasitaphelenchidae), un associé rare du charançon du palmier, *Rhynchophorus palmarum* à Trinidad. *Zootaxa* 1189, 39-53.
- Gindin, G., Levski, S., Glazer, I., Soroker, V., 2006. Evaluation des champignons entomopathogènes *Metarhizium anisopliae* et *Beauveria bassiana* contre le charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus*. *Phytoparasitica* 34, 370-379.
- Gopinadhan, P.B., Mohandas, N., Nair, K.P.V., 1990. Cytoplasmic polyhedrosis virus infecting red palm weevil of coconut. *Curr. Sci. India* 59, 577-580.
- Grewal, P.S., Ehlers, R.-U., Shapiro-Ilan, D.I., 2005. Nematodes as Biocontrol Agents. CABI, New York, Wallingford, pp. xvii + 513.
- Guimarães, J.H., 1977. Une révision du genre *Paratheresia* Townsend (Diptera : Tachinidae, Thesiini). *Papeis Avulsos de Zoologia* 30, 267-288.
- Güerri-Agulló, B., López-Follana, R., Asensio, L., Barranco, P., Lopez-Llorca, L.V., 2011. Utilisation d'une formulation solide de *Beauveria bassiana* pour le biocontrôle du charançon rouge du palmier (*Rhynchophorus ferrugineus*) (Coleoptera : Dryophthoridae) dans des conditions de terrain dans le sud-est de l'Espagne. *Florida Entomol.* 94, 737-747.
- Hallett, R.H., Crespi, B.J., Borden, J.H., 2004. Synonymie de *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier), 1790 et *R. vulneratus* (Panzer), 1798 (Coleoptera, Curculionidae, Rhynchophorinae). *J. Nat. Hist.* 38, 2863-2882.
- Hassan, M.F., Nasr, A.K., Allam, S.F., Taha, H.A., Mahmoud, R.A., 2011. Biodiversité et fluctuation saisonnière des familles d'acariens associées au charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera : Curculionidae) en Égypte. *Egypt. J. Biol. Pest Control* 21, 317-323.
- Husband, R.W., O'Connor, B.M., 1999. Deux nouveaux acariens ectoparasites (Acari : Podapolipidae) de *Rhynchophorus* spp. (Coleoptera : Curculionidae) d'Indonésie, de Malaisie, des Philippines et d'Afrique de l'Ouest. *Int. J. Acarol.* 25, 101-110.
- Iyer, C.S.V., 1940. Two interesting and unrecorded enemies of the palm beetle, *Rhynchophorus ferrugineus*. *Indian J. Entomol.* 2, 98.
- Jacas, J.A., Dembilio, O., Llacer, E., 2011. Activités de recherche axées sur la gestion d'u charançon rouge du palmier dans l'unité associée UJI-IVIA (région de Valence, Espagne). *Bull. OEPP/EPPO Bull.* 41, 122-127.
- Jaronski, S.T., 2010. Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. *Biocontrol* 55, 159-185.
- Jing, Z., Weiquan, Q., Wei, Y., Zhengqiang, P., 2011. Isolation and identification d'une souche pathogène de *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier. *Chin. J. Trop. Crops* 32, 2331-2335.
- Kanzaki, N., Abe, F., Giblin-Davis, R.M., Kiontke, K., Fitch, D.H.A., Hata, K., Soné, K., 2008. *Teratorhadtis synpappilata* Sudhaus, 1985 (Rhabditida : Rhabditidae) est un associé du charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera : Curculionidae). *Nematology* 10, 207-218.
- Kanzaki, N., Giblin-Davis, R.M., Zeng, Y., Ye, W., Center, B.J., 2009. *Acrostichus rhynchophori* n. sp. (Rhabditida : Diplogastridae) : un associé phorétique de *Rhynchophorus cruentatus* Fabricius et *R. palmarum* L. (Coleoptera : Curculionidae) dans les Amériques. *Nematology* 11, 669-688.
- Klostermeyer, E.C., 1942. Le cycle biologique et les habitudes du perce-oreille à pattes annulaires, *Euborellia annulipes* Lucas. *J. Kans. Entomol. Soc.* 15, 13-18.
- Kontschán, J., Tanyi Tambe, J., Riolo, P., 2012. *Uroobovella phoenicicola* sp. n., un nouvel acarien Uropodina (Acari : Mesostigmata) associé au charançon africain du palmier (*Rhynchophorus phoenicis* Fabricius, 1801) du Cameroun. *Afr. Invertebr.* 53, 593-600.
- Krishnakumar, R., Sudha, G., 2002. Indian tree pie *Dendrocitta vagabunda parvula* (Whistler and Kinnear) (Corvidae). Un oiseau prédateur du charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.). *Insect Environ.* 8, 133.
- Lacey, L.A., Kirk, A.A., Millar, L., Mearns, G., Vidal, C., 1999. Ovicidal and larvicidal activity of conidia and blastospores of *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina : Hyphomycetes) against *Bemisia argentifolii* (Homoptera : Aleyrodidae) with a description of a bioassay system allowing prolonged survival of control insects. *Biocontrol Sci. Technol.* 9, 9-18.
- Liu, J., Poinar Jr, G.O., Berry, R.E., 2000. Control of insect pests with entomopathogenic nematodes : the impact of molecular biology and phylogenetic reconstruction. *Ann. Rev. Entomol.* 45, 287-306.
- Llácer, E., Martínez de Altube, M.M., Jacas, J.A., 2009. Évaluation de l'efficacité de *Steinernema carpocapsae* dans une formulation de chitosane contre le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus*, dans *Phoenix canariensis*. *Biocontrol* 54, 559-565.
- Llácer, E., Santiago-Álvarez, C., Jacas, J.A., 2013. Les mâles stériles peuvent-ils être utilisés comme vecteurs d'un agent de contrôle microbiologique ? Le cas de *Rhynchophorus ferrugineus* et *Beauveria bassiana*. *B. Entomol. Res.* 103, 241-250.
- Longo, S., Ragusa, S., 2006. Presenza e diffusione in Italia dell'acaro *Centrouropoda almerodai* (Uroactiniinae Uropodina). *Boll. zool. agr. Bachic.* 38, 265-269.
- Lo Verde, G., Massa, B., 2007. Note sul Punteruolo della palma *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1970) in Sicilia (Coleoptera Curculionidae). *Boll. zool. agr. Bachic.* 39, 131-149.
- Lo Verde, G., Caldarella, C.G., La Mantia, G., Sauro, G., 2008. Punteruolo rosso delle palme, l'emergenza continua. *Informatore Agrario* 64, 74-77.
- Manachini, B., Arizza, V., Parrinello, N., 2008a. Sistema immunitario del Punteruolo Rosso (*Rhynchophorus ferrugineus*). In : La ricerca scientifica sul punteruolo rosso e gli altri fitofagi delle palme in Sicilia, Regione Siciliana-Assessorato Agricoltura e Foreste Dipartimento Interventi Infrastrutturali, Servizi allo Sviluppo, Vol. I, pp. 133-136.
- Manachini, B., Mansueto, V., Arizza, V., Parrinello, N., 2008b. Preliminary results on the interaction between *Bacillus thuringiensis* and red palm weevil. In : 41st Annual Meeting of Society for Invertebrate Pathology and 9th International Conference on *Bacillus thuringiensis*, Warwick, UK, p. 45.
- Manachini, B., Lo Bue, P., Peri, E., Colazza, S., 2009. Effets potentiels de *Bacillus thuringiensis* contre les adultes et les larves âgées de *Rhynchophorus ferrugineus*. *IOBC/WPRS Bull.* 45, 239-242.
- Manachini, B., Schillaci, D., Arizza, V., 2013. Réponses biologiques de *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera : Curculionidae) à *Steinernema carpocapsae* (Nematoda : Steinernematidae). *J. Econ. Entomol.* 106, 582-1589.
- Massa, B., Lo Verde, G., 2008. Gli antagonisti naturali del Punteruolo rosso delle palme. In : La ricerca scientifica sul punteruolo rosso e gli altri fitofagi delle palme in Sicilia. Regione Siciliana-Assessorato Agricoltura e Foreste Dipartimento Interventi Infrastrutturali, Servizi allo Sviluppo, Vol. I, pp. 73-78.
- Mazza, G., Arizza, V., Baracchi, D., Barzanti, G.P., Benvenuti, C., Francardi, V., Frandi, A., Gherardi, F., Longo, S., Manachini, B., Perito, B., Rumine, P., Schillaci, D., Turillazzi, S., Cervo, R., 2011a. Attività antimicrobica del charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus*. *Bull. Insectol.* 64, 33-41.
- Mazza, G., Cini, A., Cervo, R., Longo, S., 2011b. Just phoresy ? reduced lifespan in red palm weevils *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera : Curculionidae) infested by the mite *Centrouropoda almerodai* (Uroactiniinae : Uropodina). *Ital. J. Zool.* 78, 101-105.
- Merghem, A., 2011. Sensibilité du charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) au champignon de la muscardine verte, *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) en laboratoire et en vergers de palmiers. *Égypte. J. Biol. Pest Control* 21, 179-183.
- Morton, A., Garcia-del-Pino, F., 2011. Interaction possible de l'acarien phorétique *Centrouropoda almerodai* sur le contrôle de *Rhynchophorus ferrugineus* par les nématodes entomopathogènes. *IOBC-WPRS Bull.* 66, 363-366.
- Moura, J.L.L., Mariou, D., Delabie, J.H.C., 1993. Efficacité de *Paratheresia menezesi* townsend (Diptera : Tachinidae) pour la lutte biologique naturelle contre *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera : Curculionidae). *Oleagineux* 48, 219-223.
- Moura, J.L.L., Toma, R., Sgrillo, R.B., Delabie, J.H.C., 2006. Efficacité naturelle du parasitisme par *Billaea rhynchophorae* (Blanchard) (Diptera : Tachinidae) pour le contrôle de *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera : Curculionidae). *Neotrop. Entomol.* 35, 273-274.
- Murphy, S.T., Briscoe, B.R., 1999. The red palm weevil as an alien invasive : biology and prospects for biological control as a component of IPM. *Biocontrol* 20, 35-45.
- Oreste, M., De Luca, F., Fanelli, E., Troccoli, A., Tarasco, E., 2013. Nouveaux nématodes associés à *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera : Curculionidae) : description préliminaire. *IOBC-WPRS Bull.* 90, 271.
- Orr, D.B., Suh, C.P.-C., 2000. Parasitoïdes et prédateurs. In : Rechcigl, N.A., Rechcigl, J.E. (Eds.), *Biological and Biotechnological Control of Insect Pests*. Lewis Publishers, Boca Raton, New York, pp. 3-34.
- Paoli, F., Dallai, R., Cristofaro, M., Arnone, S., Francardi, V., Roversi, P.F., 2014. Morphologie de l'appareil reproducteur mâle, ultrastructure des spermatozoïdes et c-irradiation du charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. (Coleoptera : Dryophthoridae). *Tissue and Cell* <http://dx.doi.org/10.1016/j.tice.2014.06.003>.
- Peter, C., 1989. Note sur les acariens associés au charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. au Tamil Nadu. *J. Insect Sci.* 2, 160-161.
- Poinar Jr, G.O., 1969. *Pracocilenchus rhabdiphorus* n. gen., n. sp. (Nematoda : Aphelenchoidea) parasitant *Rhynchophorus bilineatus* (Montrouzier) (Coleoptera : Curculionidae) en Nouvelle-Bretagne. *J. Nematol.* 1, 227-231.
- Porcelli, F., Ragusa, E., D'Onghia, A.M., Mizzi, S., Mirfud, D., 2009. Occurrence of *Centrouropoda almerodai* and *Uroobovella marginata* (Acari : Uropodina) phoretic on the red palm weevil in Malta. *Bull. Entomol. Soc. Malta* 2, 61-66.
- Prior, C., Arur, M., 1985. The infectivity of *Metarhizium anisopliae* to two insect pests of coconuts. *J. Invertebr. Pathol.* 45, 187-194.
- Quesada-Moraga, E., Santos-Quiros, R., Valverde-García, P., Santiago-Álvarez, C., 2004. Virulence, transmission horizontale et effets reproductifs sublétaux de *Metarhizium anisopliae* (champignons anamorphiques) sur la blatte germanique (Blattodea : Blattellidae). *J. Invertebr. Pathol.* 87, 51-58.
- Quezada, J.R., Amaya, C.A., Herman, L.H., 1969. *Xanthopygus cognatus* Sharp (Coleoptera : Staphylinidae), un ennemi du charançon du cocotier, *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera : Curculionidae) au Salvador. *J. N.Y. Entomol. Soc.* 77, 264-269.
- Rao, P.N., Reddy, Y.N., 1980. Description d'un nouveau nématode *Praecocilenchus ferrugineus* n. sp. des charançons (Coleoptera) des cocotiers dans le sud de l'Inde. *Rivista di Parassitologia* XLI, 93-98.
- Reginald, C., 1973. Principaux insectes nuisibles. In : Noix de coco. Série agriculture tropicale. Longmans, Londres.
- Rehner, S.A., Minnis, A.M., Sung, G., Luangsa-ard, J.J., Devotto, L., Humber, R.A., 2011. Phylogénie et systématique du genre anamorphe et entomopathogène *Beauveria*. *Mycologia* 103, 1055-1073.
- Rodríguez-Morell, H., Quirós-Mc Intire, E.I., Domingo-Quirós, A.E., Chico-Morejón, R., Porcelli, F., 2012. Presencia de *Centrouropoda almerodai* y *Glyptolaspis* sp. (Acari : Uropodina, Macrochelidae) sobre el picudo negro del cocotero (*Rhynchophorus palmarum*) (Coleoptera : Curculionidae) en Panamá. *Métodos en Ecología y Sistemática* 7, 1-7.
- Rugman-Jones, P.F., Hoddle, C.D., Hoddle, M.S., Stouthamer, R., 2013. The lesser of two weevils : molecular-genetics of pest palm weevil populations confirm *Rhynchophorus vulneratus* (Panzer 1798) as a valid species distinct de *R. ferrugineus* (Olivier 1790), and reveal the global extent of both. *PLoS ONE* 8 (e78379), 15.

- Salama, H.S., Abd-Elgawad, M., 2002. Activity of heterorhabditid nematodes at high temperature and in combination with cytoplasmic polyhedrosis virus. *J. Pest. Sci.* 75, 78-80.
- Salama, H.S., Foda, M.S., El-Bendary, M.A., Abdel-Razek, A., 2004. Infection du charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* par des bacilles sporulés indigènes de son habitat naturel en Égypte. *J. Pest. Sci.* 77, 27-31.
- Saleh, M.M.E., Alheji, M.A., Alkhalil, M.H., Alferdan, H., Darwish, A., 2011. Évaluation de *Steinernema* sp. SA un isolat indigène d'Arabie Saoudite pour contrôler les adultes du charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier). *Égypte. J. Biol. Pest Control* 21, 277-282.
- Sewify, G.H., Belal, M.H., Al-Awash, S.A., 2009. Utilisation du champignon entomopathogène *Beauveria bassiana* pour la lutte biologique contre le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier. *Égypte. J. Biol. Pest Control* 19, 157-163.
- Shaju, S., Kumar, R.K., Gokulapalan, C., 2003. Occurrence of *Beauveria* sp. on red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) of coconut. *Insect Environ.* 9, 66-67.
- Shamseldean, M.M., Atwa, A.A., 2004. Virulence des nématodes steinernematides égyptiens utilisés contre le charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.). *Égypte. J. Biol. Pest Control* 14, 135-140.
- Sosamma, V.K., Rasmi, B., 2002. Enquête sur les nématodes entomophiles au Kerala. *Indien J. Nematol.* 32, 184-185.
- Sudhaus, W., Kiontke, K., Giblin-Davis, R.M., 2011. Description de *Caenorhabditis angaria* n. sp. (Nematoda : Rhabditidae), un associé des charançons de la canne à sucre et du palmier (Coleoptera : Curculionidae). *Nematology* 13, 61-78.
- Tanada, Y., Kaya, H.K., 1993. *Insect Pathology*. Academic Press Inc, Harcourt Brace, Jovanovich Publ, San Diego, New York, Londres, p. 666.
- Tarasco, E., Porcelli, F., Polisenio, M., Quesada Moraga, E., Santiago Álvarez, C., Triggiani, O., 2008. Présence naturelle de champignons entomopathogènes infectant le charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera, Curculionidae) dans le sud de l'Italie. *IOBC/WPRS Bull.* 31, 195-197.
- Tefera, T., Pringle, K.L., 2003. Food consumption by *Chilo partellus* (Lepidoptera : Pyralidae) larvae infected with *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* and effects of feeding natural versus artificial diets on mortality and mycosis. *J. Invertebr. Pathol.* 84, 220-225.
- Torta, L., Leone, V., Caldarella, G., Lo Verde, G., Burruano, S., 2009. Microrganismi fungini associati a *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) in Sicilia e valutazione dell'efficacia entomopatogena di un isolato di *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. *Ossevizioni preliminari. Micologia Italiana* 2, 49-56.
- Triggiani, O., Cravedi, P., 2011. Les nématodes entomopathogènes. *Redia* XCIV, 119-122.
- Triggiani, O., Tarasco, E., 2011. Évaluation des isolats autochtones et commerciaux de Steinernematidae et Heterorhabditidae sur *Rhynchophorus ferrugineus*. *B. Insectol.* 64, 175-180.
- van Lenteren, J.C., 2012. The state of commercial augmentative biological control : plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *Biocontrol* 57, 1-20.
- Wattanapongsiri, A.L., 1966. Révision des genres *Rhynchophorus* et *Dynamis* (Coleoptera : Curculionidae). *Bulletin 1, Department of Agriculture Science, Bangkok, Thaïlande*, pp. 328.