

**AFPP – PALM PEST MEDITERRANEAN CONFERENCE
NICE – 16, 17 AND 18 JANUARY 2013**

**CHARANÇON ROUGE DU PALMIER : TRAITS D'ÉCOLOGIE, COMPORTEMENT
OLFACTIF ET PIÉGEAGE**

D. ROCHAT¹, D. SCHMIDT-BUESSER¹, P. COUZI¹, B. LHERMINIER¹, P. ROSKAM¹, R.
HAMIDI¹, A. AVAND-FAGHIH², M. RENO¹

¹ Institut National de la Recherche Agronomique, UMR 1272, RD 10, 78026 Versailles cedex, France, didier.rochat@versailles.inra.fr

² Plant Pests & Diseases Research Institute, P.O. Box 1454, Téhéran 19395, Iran, armanfaghih@yahoo.fr

SUMMARY

This paper is a review about the Red Palm Weevil (RPW) ecology, olfactory behaviour and pheromone-based trapping. It separates strong evidences, from plausible assumptions and elements not substantiated. RPW lives most of its life hidden on palm trees it kills opportunistically after adaptation to Mediterranean climate and especially to Canary palms. The adult is an excellent flyer and has a very sensitive smell. RPW thus detects wounded palm trees and conspecifics, of which males emit an aggregation pheromone. RPWs can be efficiently captured by traps baited with synthetic pheromone, ethyl acetate and a natural odour produced by fermentation of sweet plant tissues, which combination is synergistic. This technique is a necessary component of any RPW management and eradication plan to detect adults, localize infested palms and contribute to mass removal of the adults. The key-features, advantages and limits of trapping, and current research paths for improvements are presented and discussed.

Key words: bibliography review, Red palm Weevil, ecology, Pheromone, trap.

RÉSUMÉ

Cet article est une synthèse sur l'écologie, le comportement et le piégeage olfactif du Charançon Rouge du Palmier (CRP) à l'aide de phéromone. Il fait la part entre données robustes, hypothèses plausibles et éléments non démontrés. Le CRP vit caché l'essentiel de sa vie sur les palmiers qu'ils tuent de façon opportuniste en s'étant adapté au climat méditerranéen et en particulier au palmier des Canaries. L'adulte est un excellent volier doté d'un odorat très sensible. Il détecte ainsi les palmiers blessés et ses congénères dont les mâles émettent une phéromone d'agrégation. On peut capturer efficacement les CRP à l'aide de pièges attractifs émettant de la phéromone synthétique, de l'acétate d'éthyle et une odeur naturelle produite par la fermentation de tissus végétaux sucrés, dont l'association est synergique. Cette technique est indispensable à tout plan de gestion et d'éradication du CRP pour détecter les adultes, localiser les palmiers infestés et éliminer en masse l'insecte. Les paramètres clés du piégeage, ses avantages et limites et les pistes de recherche explorées pour les améliorer sont présentés et discutés.

Mots-clés : synthèse bibliographique, charançon rouge du palmier, écologie, phéromone, piège.

INTRODUCTION

Le charançon rouge du palmier (CRP), *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier, (Coleoptera, Dryophthoridae) est aujourd'hui le principal destructeur des palmiers dans le bassin méditerranéen et l'aire native du dattier. Originaire d'Asie tropicale, il y a été introduit en Péninsule Arabique en 1985 et en Espagne dans les années 1990. L'urbanisation des zones balnéaires en Europe et dans ses territoires satellites depuis lors s'est accompagnée d'un boom du commerce des palmiers qui a entraîné la dissémination rapide et à grande échelle du CRP en l'absence de règlements et de moyens appropriés pour le détecter et assainir les palmiers efficacement (OEPP, 2008 ; Fiaboe *et al.*, 2012).

La mise en place progressive de mesures pour éradiquer le CRP et prévenir entrées et dissémination et son classement de quarantaine dans l'Union Européenne (UE) en 2007 (J.O. UE, 2007) n'ont pas empêché des pertes colossales (~150.000 palmiers depuis 1995, estimation Palm Protect). Trois facteurs clés ont contribué à la situation actuelle : la sensibilité du palmier des Canaries (*Phoenix canariensis* Hort. ex Chabaud, abrégé ensuite en *Pcan*), le palmier dominant en Europe, au CRP et la méconnaissance des traits d'adaptation du CRP à ce palmier et au climat méditerranéen ; la valorisation économique mal définie des palmiers dans l'UE au regard d'autres filières agricoles, qui n'a pas permis d'obtenir des soutiens politiques et financiers rapides pour traiter la situation à la hauteur du risque ; et les difficultés techniques et le coût d'une élimination efficace des foyers.

Si de nombreux traits de la biologie du CRP en Europe et des recommandations sont aujourd'hui établis sur des bases robustes des points demeurent inconnus ou controversés, qui doivent être soulignés et pris en compte pour l'avenir.

Le présent article est une synthèse sur l'écologie du CRP et ses capacités olfactives qui peuvent être utilisées pour sa détection avec une efficacité accrue par piégeage à l'aide de phéromone en toute connaissance de cause quant aux avantages et limites de cette technique. Il intègre l'expertise du consortium européen Palm Protect. Nous y distinguerons les éléments avérés d'hypothèses plausibles mais pas étayés indubitablement.

ELEMENTS - CLES D'ECOLOGIE

UNE VIE CACHEE A TOUS LES STADES

Le CRP vit caché toute sa vie dans les palmiers même si l'adulte peut migrer à des distances dépassant le kilomètre (Abbas *et al.*, 2006). Les œufs sont insérés isolément dans les tissus vivants les plus tendres et accessibles. Les femelles marquent chimiquement leurs sites de ponte ce qui favoriserait la dispersion des œufs sur les palmiers (Salem *et al.*, 2012). La larve se nourrit des tissus vivants des bases foliaires et des zones plus internes de la plante : stipe, feuilles non déployées, méristème, plateau radiculaire, jonction avec des rejets (dattier par ex.). En fin de croissance elle migre en périphérie (surtout bases foliaires) pour trouver les fibres dont elle a besoin pour fabriquer un cocon où elle se nymphose. Dans les régions très infestées observer des adultes en vol est aisé mais sitôt posés sur les palmiers, les insectes gagnent des anfractuosités où on peut les trouver lors de la coupe de palmes. On ne sait pas avec précision ce que font les adultes sur les palmiers *in situ*. Cette vie presque totalement confinée assure au CRP une très forte protection contre ses ennemis. Elle rend difficile sa détection et son élimination, *a fortiori* sur de grands palmiers, car il faut accéder aux frondaisons pour valider sa présence en l'absence et il faut pouvoir faire pénétrer les insecticides et les agents infectieux là où se trouvent les CRP pour les tuer.

CRP ET PALMIERS : UNE RELATION OPPORTUNISTE SANS 'RESISTANCE'

Le CRP ne se développe que dans les palmiers (Arecaceae = Palmae) en milieu naturel mais on peut l'élever sur d'autres tissus végétaux succulents comme la canne à sucre et l'adulte peut s'alimenter sur divers fruits et tissus sucrés (Wattanapongsiri, 1966 ; Dembilio *et al.*, 2009 ; 2011).

Dans l'aire d'origine, le palmier le plus cité infesté et tué par le CRP est le cocotier (*Cocos nucifera* L.) dont le CRP est un ravageur notoire depuis plus d'un siècle ; au Moyen-Orient c'est le dattier depuis 1985 (Faleiro, 2006). Dans l'ouest méditerranéen et aux Canaries, c'est *Pcan*, très loin devant le dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et les *Washingtonia* spp. (Dembilio *et al.*, 2009 ; Raciti *et al.*, sous presse). En général plus de 90% des palmiers touchés sont des *Pcan* que cette espèce soit dominante ou minoritaire dans les peuplements de palmiers d'extérieur dans l'UE, constitués à plus de 95% de *Pcan*, dattier, *Washingtonia* spp., *Trachycarpus fortunei* (Hook.) H. Wendl. et *Chamaerops humilis* L. (espèces du 'Top Six'). Une mortalité accrue sur *Washingtonia* et dattier par rapport aux années antérieures est observée là où beaucoup de *Pcan* sont morts ou sous protection insecticide intensive (Sicile et Valence en Espagne : Colazza et Navarro Llopis, communication personnelle). Dattiers et *Washingtonia*, mais aussi *T. fortunei* et *C. humilis* très peu attaqués par le CRP, et d'autres palmiers encore peuvent succomber au CRP en conditions naturelles ce qui indique qu'aucune d'entre elles n'est résistante au CRP.

Le déterminisme des attaques mortelles prépondérantes du CRP sur *Pcan* n'est pas établi. Peuvent théoriquement y contribuer une sélection à distance (attraction olfactive / visuelle et la ponte et l'alimentation des larves, favorisées par des éléments physiques et chimiques (nutritionnels ou toxiques) présents dans les organes ciblés / consommés relativement à ce qui se passe pour d'autres palmiers. S'il est établi que l'odeur émanant de *Pcan* attire le CRP, il n'y a aucune preuve d'une attractivité accrue du *Pcan* par rapport aux autres palmiers. Une capacité moindre des femelles à pondre sur des bases foliaires de *Washingtonia filifera* (Linden ex André) H. Wendl., *C. humilis* et *Phoenix theophrasti* Greuter que de *Pcan* est prouvée. Après infestation artificielle, la mortalité larvaire est plus forte chez ces trois palmiers que chez *Pcan* (Dembilio *et al.*, 2009 ; 2011). Des élevages sur divers substrats/palmiers montrent que le développement est accéléré et la fitness réduite dans certains cas par la forte teneur en fibre et la dureté des tissus nourriciers, leur moindre teneur en eau et une forte richesse en sucre simple (Dembilio *et al.*, 2009 ; Dembilio et Jacas, 2011 ; références citées par ces auteurs ; Rochat, non publié).

Les pertes majeures de *Pcan* dues au CRP semble résulter de la simple conjonction de la prédominance de cette espèce dans l'ouest méditerranéen et de la morphologie particulière de ce palmier relativement aux autres du 'Top Six' (entre autres). *Pcan* présente en effet un volume de tissus tendres en croissance et très irrigués au niveau de la frondaison très supérieur à celui présent chez les autres espèces, en particulier chez les sujets jeunes. *Pcan* offre ainsi une ressource alimentaire pour le développement larvaire très supérieure aux autres palmiers pour des sujets de hauteur analogue. Dans le même temps il a des feuilles dont les bases pétiolaires accessibles au CRP sont manifestement plus grandes pour chaque palme et plus tendre au niveau des couches périphériques que *W. filifera*, *C. humilis* et *P. theophrasti*, défavorable à une perforation par la femelle et où des facteurs chimiques pourraient aussi être toxiques pour les larves (Dembilio *et al.*, 2009 ; 2011). Ces propriétés de *Pcan* favorable au CRP pourraient être renforcées lors d'une blessure/taille par un effet attractif supérieur à celui présenté par les autres palmiers, de nouveau pour une simple raison quantitative, car *Pcan* offre structurellement plus de tissus susceptibles d'attirer le CRP que les autres palmiers du 'Top Six'.

SYMPTOMES ET DETECTION VISUELLE DES PALMIERS CONTAMINES

Les palmiers attaqués ne présentent pas de symptômes marqués de dépérissement avant qu'une très grande quantité de tissus internes ait été détruite par les larves. Quand de tels symptômes sont patents, le palmier est condamné. Les faisceaux conducteurs de sève sont très nombreux et diffus sur toute la section des pétioles et du stipe chez Les palmiers qui sont des monocotylédones. Par suite, la plante reste verte même quand beaucoup de vaisseaux ne sont plus fonctionnels. Il faut donc traquer des symptômes particuliers sur des plantes d'aspect sain pour détecter le CRP à des stades d'attaque curable.

Les symptômes d'attaque sont plus ou moins nets selon la zone où se développent les larves, leur nombre, l'ancienneté de l'attaque et l'espèce et la taille du palmier touché. Leur reconnaissance efficace dépend de l'expérience des observateurs. Seules les personnes très familières des palmiers et du CRP peuvent diagnostiquer une attaque à partir de signes ténus mais fort heureusement cette expérience s'acquiert. Ce travail est très chronophage si l'on veut repérer les signes ténus ce qui est déterminant pour juguler l'extension des foyers. Les symptômes les plus fréquents se situent dans la frondaison en particulier chez *Pcan*. Les larves qui creusent à la base des feuilles en formation altèrent les rachis et les folioles qui apparaissent perforés ou découpés lorsque les palmes se déploient. La destruction d'une part importante de la section d'un pétiole entraîne dessèchement, affaissement ou casse de la palme. L'action des larves contribue globalement à l'apparition de feuilles d'aspect ou d'orientation atypique parmi les palmes saines et à une dissymétrie dans la frondaison.

Les symptômes foliaires doivent être confirmés par un examen de proximité qui nécessite l'accès à la frondaison. Ils s'accompagnent de rejets de sciure à l'aisselle des palmes, et de traces de galeries et de la présence de cocons en proportion corrélée à l'ampleur de l'attaque. Ces derniers éléments s'observent aussi sur le stipe ou les rejets (dattier par ex.). Chez le dattier, les attaques sont localisées tant dans la frondaison que sur le stipe, souvent à l'attache des rejets. Elles peuvent s'accompagner de suintements nauséabonds. Les attaques fortes conduisent souvent à la création de cavités pleines de sciure en fermentation, susceptibles d'entraîner la cassure du palmier (Rochat *et al.*, 2006).

Il n'existe pas de signes visibles à distance de la présence de larves qui n'ont pas atteint la taille d'un pouce c'est-à-dire établies depuis moins de 3 mois. La présence de cocons vides indique qu'un cycle a été bouclé ce qui correspond à un minimum de ~4 mois dans les conditions du sud Espagnol (Cf. ci-après). Un palmier avec des larves et des cocons détectés à partir de ces symptômes visuels peut ainsi être assaini et sauvegardés par les moyens actuels dès lors qu'il n'y a pas d'atteinte massive et profonde, qui compromette la survie et la stabilité de la plante (Ferry et Gomez, 2008). Une attaque avec 2 cycles successifs peut a contrario tuer des *Pcan* de plus de 10 ans dès lors qu'une forte quantité de larves (quelques centaines) peut se développer avant l'apparition d'un syndrome de dépérissement général de la frondaison (Dembilio *et al.*, 2011).

Des travaux sont poursuivis dans le cadre de Palm Protect pour évaluer le potentiel de méthodes d'imagerie très sensibles comme outil de détection précoce de la présence de larves de CRP susceptibles de modifier la physiologie du palmier de façon univoque et visualisable par ces approches quand aucun symptôme n'est accessible à l'œil humain.

UN CYCLE DE DEVELOPPEMENT MODULE PAR LA FRAICHEUR HIVERNALE : REALITE ET INCONNUES

Dans son aire d'origine le CRP est présent toute l'année avec un chevauchement de générations et les vols plus importants en saison humide (Faleiro, 2006). Il y a de nombreuses études du développement du CRP en conditions tropicales et artificielles mais aucune donnée robuste pour de grands palmiers *in situ*. Ces données rapportent des durées de l'œuf à l'adulte variant de 44 à 210 j avec une médiane de 106 j (3,5 mois) réparties ainsi : œuf 3 j (4, 5), larve 60 j (24, 120) et nymphe 19 j (14, 22) [médiane (mini, maxi)] (synthèse dans Dembilio et Jacas, 2011). Entre 25 et 28°C, la longévité d'insectes d'élevage qui peuvent s'accoupler ou sauvages n'excède guère 3 mois en particulier pour les femelles. Leur fécondité tant pour des individus sauvages que d'élevage et pour des souches d'Europe est comprise entre 100 et 200 œufs. La multiplication des accouplements accroît la fécondité.

L'établissement rapide en climat méditerranéen du CRP montre sa capacité à s'acclimater à des variations saisonnières nettes et à une période hivernale plus ou moins fraîche. Des travaux rigoureux ont permis d'établir les seuils de développement et l'impact des conditions

fraîches pour les stades du CRP, notamment à partir de larves se développant sur des *Pcan* de 7 ans placés en conditions naturelles (Martín et Cabello 2005 ; Dembilio et Jacas, 2011 ; Dembilio *et al.*, 2012 ; Tab. I). Le développement de l'œuf à l'adulte requiert 990 degré.jours. Les stades les plus précoces ne survivent pas sous 10°C et les grosses larves et nymphes sous 4,5°C. Sous 15°C, la ponte des adultes et le développement des larves cessent. Ces seuils de 15 et 10°C ont un impact majeur sur la survie et l'arrêt du développement du CRP. Nous étudions actuellement l'effet chez l'adulte des conditions hivernales afin de quantifier le potentiel de dangerosité qu'ils peuvent constituer au sortir de l'hiver (survie, fécondité, fertilité...).

Ces travaux permettent d'estimer le nombre de génération par an selon la région à partir des données climatiques usuelles. L'ouest du bassin méditerranéen permet au CRP d'accomplir une génération complète et une génération partielle simulation en accord avec la courbe d'activité bimodale des adultes observées : Les œufs pondus au printemps donnent des adultes en fin d'été et à l'automne ; ceux pondus à l'été et à l'automne l'année suivante (Dembilio et Jacas, 2011 ; Dembilio *et al.*, 2012). Une modélisation du potentiel d'adaptation du CRP au niveau mondial confirme une installation possible partout où il y a un climat doux en hiver mêmes avec des maxima annuel modeste (Fiaboe *et al.*, 2012).

Pour une modélisation optimale des dynamiques de populations du CRP en fonction du climat, il reste à préciser jusqu'à quel point les individus enfouis dans les tissus de palmier sont protégés du froid en hiver. Le différentiel saisonnier de température entre l'air ambiant et l'intérieur des palmiers a été mesuré pour des palmiers de petites dimensions (Ø 50 cm maxi) ou en zone chaude. Un effet tampon certain et important existe, qui écrête de fortes variations brèves (journalières par ex.), qui paraît restreint à quelques degrés pour des variations prolongées sur des amplitudes dépassent 10°C. Des mesures à 30 cm à l'intérieur des tissus les plus externes de la couronne sont en cours sur de grands palmiers à plusieurs mètres du sol (Palm Protect).

Lors d'infestation massive, les cavités remplies de sciure en fermentation dégage de la chaleur qui peut permettre la poursuite du développement des larves avoisinantes en période fraîche (Abe *et al.*, 2010). La contribution de ce phénomène à la dynamique des populations de CRP en Europe est inconnue.

DYNAMIQUE DES POPULATIONS : CAPACITES DE DEPLACEMENTS

Le CRP est une espèce très dynamique dans son aire d'invasion du fait de sa fécondité, de son mode de vie confinée qui le protège contre les ennemis naturels et ses capacités d'adaptation au climat et au palmiers locaux. Sa dissémination en 20 ans à grande échelle sur l'essentiel du pourtour méditerranéen est d'origine purement anthropique et liée au transport de matériel contaminé. L'adulte possède néanmoins des capacités de vol certaines lui permettant de franchir quelques kilomètres durant sa vie (Abbas *et al.*, 2006). Les palmiers touchés sont regroupés en foyers et les populations de CRP sont distribuées de façon très agrégatives (Faleiro *et al.*, 2002), suggérant que la majorité des adultes issus d'un palmiers infesté vont pondre dans les palmiers du voisinage immédiat. Les réseaux de pièges odorants révèlent schématiquement deux pics de vol au printemps et en automne avec des vols plus faibles ou inexistantes en été (par ex : FREDON Corse, 2008). Ces pics traduisent l'abondance des adultes mobiles et s'expliquent en partie par les paramètres climatiques et de développement de l'insecte donnés plus haut. Bien que les captures des réseaux de pièges soient en général nulle en plein hiver, on rapporte des vols hivernaux à des températures de l'air à l'ombre autour de 15°C voire moins. Les limites climatiques précises qui conditionnent le vol demeurent floues tout comme les conditions qui déterminent la migration depuis le site d'émergence. Il n'existe aucun élément établissant le taux d'immigration depuis un palmier des individus qui y sont nés ni preuve formelle que plusieurs générations issus des mêmes fondateurs se reproduisent sur les *Pcan* tant que la plante peut assurer le nourrissage des descendants. Cette hypothèse est plausible pour expliquer

que certains grands sujets sont totalement vidés de leurs substances par de très nombreux adultes de plusieurs générations sans que les palmiers adjacents soient touchés.

ECOLOGIE CHIMIQUE : UN ODRAT REMARQUABLE ET DES OUTILS POUR DETECTER ET DETRUIRE LE CRP

DONNEES BIOLOGIQUES : ATTRACTION PHEROMONALE ET SYNERGIE PAR ODEUR VEGETALE

Le CRP est doté d'un odorat remarquable qui lui permet de localiser ses congénères et les palmiers. Le mâle émet une phéromone d'agrégation (attractive pour les deux sexes), le 4-méthyl-5-nonanol, appelé ferruginéol (Hallett *et al.*, 1993). Il est admis que ~10% de ferruginéone (4-méthyl-5-nonanone) potentialise l'effet du ferruginéol (Abozuhairah *et al.*, 1996). Cette phéromone sert de signal sexuel et de site favorable à l'alimentation, phénomène déterminant dans la dynamique des populations du CRP. A l'instar de tous les *Rhynchophorus* spp., l'odeur de tissus blessés de palmiers est synergique de la phéromone d'agrégation pour attirer le CRP (Rochat *et al.*, 1991 ; Hallett *et al.*, 1993 ; 1999 ; Avand-Faghih, 2004). L'odeur émanant de liquides (mélasse) ou fruits sucrés en fermentation (de palmier ou non : dattes, pommes...) est aussi synergique de la phéromone. A courte distance (< 5 m), le CRP s'oriente en marchant vers l'odeur de dattier (base foliaire fermentée) seule à partir de très faibles doses (3 cm³ de tissu). Cette odeur tend à arrêter les CRP en marche spontanée. Elle est bien moins attractive et focalise moins l'insecte à la source que la phéromone : 10 à 20 cm contre 30 à 60 cm en 1 mn. Les mâles sont moins attirés par la phéromone que les femelles, qui ont un seuil de réponse inférieur à eux, propriété corrélée aux captures supérieures de femelles dans les pièges (2 à 3 femelles pour 1 mâle). Le mélange d'odeur de palmier à la phéromone accroît la distance parcourue par minute de 50% à 200% et améliore la focalisation vers la source par rapport à la phéromone seule (Schmidt-Buesser *et al.*, 2010 ; Rochat *et al.*, non publié).

ATTRACTIFS NATURELS ET SYNTHETIQUES DISPONIBLES

La phéromone synthétique, stable et bon marché, est un attractif sélectif proposé par diverses sociétés dans des diffuseurs de durée de vie variant de 1 à plus de 5 mois. Les doses d'emploi varient de 3 à 10 mg/j (ferruginéol avec 3 à 10% de ferruginéone).

L'odeur de palmier seule ou la phéromone seule permettent des captures du même ordre de grandeur ; celles par le mélange avec un substrat végétal optimal (SV) sont toujours supérieures à ce que prend la phéromone seule. Selon les pays, le SV qui renforce l'effet de la phéromone est constitué de morceaux de stipes et bases foliaires frais ou de pétioles de cocotier (Asie tropicale) et de dattier (Moyen-Orient) qui fermentent et dont l'effet synergique est incontestable (0,1 à 1 kg) (Avand-Faghih, 2004 ; Faleiro, 2005 ; Oehlschlager, 2007). Au Moyen-Orient on utilise aujourd'hui surtout des dates mûres comme synergiste naturel. Dans l'UE où ces différents SV sont rares et coûteux, l'usage de mélasse tend à se répandre et l'on cherche un substitut synthétique au SV (Guarino *et al.*, 2011). La littérature décrit pléthore d'essais comparatifs de SV synergistes avec des résultats contradictoires sans qu'il soit possible d'établir les raisons précises de ces différences car trop de facteurs non contrôlés sont en jeu en particulier la composition des tissus et la microflore qui les dégrade.

Les essais d'identification du principe synergique produit par les SV ont montré que l'acétate d'éthyle (EtAc), un constituant abondant de cette odeur, y joue un rôle (El-Sebay, 2003 ; Abdallah *et al.*, 2008 ; Guarino *et al.*, 2011). Cet effet s'exprime au moins pour l'approche en marche à courte distance : l'EtAc n'est pas attractif *per se* mais accroît fortement l'effet de la phéromone (Schmidt-Buesser *et al.*, 2010). Il est établi qu'un apport d'EtAc accroît l'effet d'un appât 'phéromone + végétal (gain $\times 2,5$ pour *Rhynchophorus palmarum* L. transposable au CRP ; Oehlschlager, 2010) ; cet appât tripartite est sans conteste la meilleur pour attirer le CRP. Le lecteur se référera à la Figure 1 pour visualiser l'impact relatif des attractifs et de leurs combinaisons utilisés pour piéger le CRP.

D'autres substances ont citées comme améliorant l'attraction de la phéromone seule ou avec EtAc et/ou SV mais aucune n'a encore fait la preuve indubitable d'un effet reproductible justifiant la généralisation de son usage (Gunawardena *et al.*, 1998 ; Guarino *et al.*, 2011). Palm Protect et l'INRA poursuivent leur travaux dans cette direction.

PIEGES

Modèles

La vie cachée du CRP contribue beaucoup à la difficulté de détecter les foyers. Ces handicaps sont en partie compensés par la possibilité d'attirer et de capturer les adultes qui répondent avec une extrême sensibilité aux appâts odorants décrits plus haut. Exploiter efficacement cette propriété n'est possible qu'en utilisant des pièges efficaces, c'est-à-dire adaptés au comportement du CRP et qui capturent tous les CRP attirés. A l'instar des essais de SV synergistes de la phéromone la littérature abonde de descriptions et d'évaluations de pièges (Faleiro, 2005 ; Oehlschlager, 2007 ; Martínez Tenedor *et al.*, 2008 ; Sansano *et al.*, 2008 ; Alfaro *et al.*, 2011 ; références citées par ces auteurs). S'il existe vraisemblablement plusieurs bons modèles, il est indispensable de s'assurer qu'un piège destiné à un large usage réponde aux critères primordiaux qui déterminent un tel objet : faciliter au maximum l'entrée des cibles tout en rendant impossible leur fuite après entrée. Peu de CRP atterrissent directement dans un piège après attraction ; beaucoup sinon la majorité le gagne en marchant (0,5 à 2 m) après une approche en vol. La phase finale d'accès au piège est critique tant pour le design du piège que son positionnement dans l'environnement.

Le type de piège le plus répandu est un récipient cylindrique ou un tronc de cône faiblement évasé vers le haut (seau) doté de quelques ouvertures latérales (10 à 20 cm² chaque) au sommet du piège et sur son couvercle. La surface externe du piège doit impérativement permettre une escalade aisée des parois verticales conduisant aux entrées : concrètement être rugueuse ou porteuse d'aspérités qui facilitent la marche. Il est suggéré d'associer au seuil des entrées des surfaces lisses en pente raide vers l'intérieur des pièges qui font office de toboggan ; un tel agencement favorise la descente des CRP dans le piège et tout en compromettant une remontée aisée. Les pièges 'seaux' doublés d'un entonnoir interne juste sous les entrées ont ainsi une efficacité renforcée.

Un piège de forme différente, basé sur un tronc de cône avec une paroi externe inclinée à 60° et finement cannelée a été mis au point récemment. Il favorise l'accès vers une unique entrée couplée à un entonnoir située au sommet. Ce dessin original permet un accès aisé des CRP jusqu'à l'entrée sans marche sur une paroi verticale où en surplomb comme sur un piège de type 'seau' (Alfaro *et al.*, 2011).

Couleurs

La littérature regorge de données contradictoires à cet égard (Faleiro, 2005 ; Oehlschlager, 2007 ; Al-Saoud *et al.*, 2010 ; Tapia *et al.*, 2010 ; références citées par ces auteurs) ; toutefois plusieurs essais montrent que les pièges noirs/sombres permettent de prendre plus de CRP que des pièges plus clairs (rouge, brun, blanc... Hallett *et al.*, 1999 ; Alfaro *et al.*, 2011 ; Ávalos et Soto, 2010). La plupart des auteurs concluent à l'effet attractif d'une couleur, le noir par ex., ce qui est abusif sinon erroné car les captures résultent de nombreux facteurs en interactions complexes qui induisent des comportements basés sur l'intégration d'informations odorantes, visuelles et tactiles sans la contribution précise de ses sens sur la prise finale par le piège puissent être déterminées. Les captures supérieures des pièges noirs/sombres peut ainsi résulter d'un effet de contraste avec l'environnement et non d'un effet purement chromatique.

Plus généralement et pour expliciter la problématique de l'interprétation des paramètres qui

font l'efficacité d'un piège, les nombre, position et dimension des ouvertures contribuent aux taux d'entrée et de sortie directs des insectes, mais aussi à la ventilation du piège, laquelle module le taux d'émission des odeurs qui en émanent, tant à partir de diffuseurs artificiels que des SV qui fermentent. Le taux d'émission des attractifs dépend directement du microclimat dans le piège (température mais aussi hygrométrie Cf. plus bas) ; ce dernier étant affecté par le climat et sa couleur (sombre *versus* clair) : les pièges noirs absorbent en effet beaucoup plus la chaleur que les pièges clairs.

De l'eau dans les pièges : Pour quoi faire ?

La rétention des CRP dans un piège peut être assurée par : un insecticide, généralement en solution aqueuse ; de l'eau au fond du piège avec ou sans agent mouillant (ou insecticide) ; ou le simple design du piège qui constitue une nasse sèche empêchant toute fuite.

Dans l'immense majorité des cas, on emploie des pièges avec de l'eau. L'eau offre un double service : elle génère une forte hygrométrie dans le piège qui permet la fermentation efficace et prolongée d'un SV naturel nécessaire à la production d'odeur qui renforce l'attraction ; elle sert aussi d'agent de rétention, le plus souvent additionnée de détergent. La présence d'eau a aussi été rapportée comme signal potentiellement attractif pour le CRP en particulier en climat aride (Aldryhim et Al-Bukiri, 2003 ; Aldryhim et Khalil, 2003).

A l'occasion du développement du piège pyramidal, Alfaro *et al.* (2011) ont montré que l'eau ne renforce pas l'attractivité de la phéromone ou de la phéromone + EtAc. Des pièges secs sans possibilité de fuite, ou avec formulation insecticide sèche et avec eau prennent autant. La présence d'eau n'apporte donc aucun bénéfice attractif à un piège dont la conception empêche tout échappement des CRP qui y sont entrés sans SV comme co-attractif, lequel confère un surcroît d'attractivité incontestable à l'appât phéromone+ EtAc (Fig . 1).

PIEGEAGE : DES PRINCIPES SIMPLES MAIS UNE REALITE COMPLEXE FACE AUX IMPERATIFS ECONOMIQUES

Le piégeage : la clé d'une lutte intégrée efficace

La détection des insectes ravageurs à l'aide de phéromone est très intégrée et répandue en protection des plantes. Le CRP est à cet égard un exemple remarquable car il a atteint l'un des premiers rangs mondiaux de l'usage de phéromone pour la surveillance des populations et le premier pour le piégeage de masse (El-Sayed *et al.*, 2006 ; Witzgall *et al.*, 2010). Il est incontestable que le piégeage à base de phéromone contribue de façon déterminante à la détection des foyers de CRP et à son élimination (Soroker *et al.*, 2005 ; Faleiro, 2006 ; Martín *et al.*, sous presse). Pour autant, le piégeage seul n'a pas de sens pour contrôler le CRP et la diversité des situations ne permettent pas de généraliser une mise en œuvre selon une procédure unifiée simple. La vastitude des territoires sous la menace du CRP nécessite une politique de déploiement coordonné à grande échelle pour une efficacité optimale, laquelle n'est atteinte que dans le cadre d'une intégration complète avec les autres moyens de lutte et de prévention. Le piégeage ne peut porter de fruits qu'appliqué à moyen ou long terme selon une stratégie clairement définie. Ce point est d'autant plus important que la démarche présente un coût important largement lié à sa logistique (mise en place, suivi, souplesse et réactivité pour faire évoluer les réseaux et intégrer rapidement les niveaux de captures pour mettre en œuvre les moyens curatifs).

En sus de ces principes généraux, la question des mécanismes sur lesquels repose l'efficacité d'un piège et par suite du piégeage mérite d'être clairement exposés pour un emploi en toute connaissance de cause selon les règles de l'art, seules garantes d'un résultat.

Sensibilité optimale versus charge financière : le problème du co-attractif végétal

Gérer efficacement le CRP repose sur la localisation rapide et sûre des foyers sur de grandes surfaces. Piéger les adultes y aide fondamentalement en focalisant l'effort de recherche visuelle des palmiers atteints près des points de capture car l'insecte essaime avant tout à proximité des palmiers sources. Ceci sera d'autant plus efficace que les pièges auront individuellement la meilleure sensibilité. Pour cela ils doivent utiliser l'attractif le plus performant au long cours couplé à un piège dont l'efficacité est reconnue. Dès lors que l'on s'approche d'un tel optimum, la mise en œuvre pour un piégeage de masse est possible.

Le meilleur attractif du CRP à ce jour est la combinaison phéromone + EtAc + substrat végétal (SV) naturel qui fermente, de préférence d'origine 'palmier' (Fig. 1). Le caractère optimal de cet ensemble traduit en partie la valeur qualitative supérieure de cette odeur pour le CRP qui cible un plus large panel d'individus de motivations différentes.

Phéromone + EtAc sont émis à partir des diffuseurs manufacturés bien calibrés avec des doses et des durées de vie qui peuvent être mesurées dans chaque situation locale et ajustées le cas échéant. En fonction de ces mesures le gestionnaire doit veiller à renouveler les diffuseurs à une fréquence appropriée pour éviter tout épuisement de l'une ou l'autre des odeurs qui entraînerait une chute de sensibilité des pièges (Fig. 1). En général cette fréquence est au maximum mensuelle pour l'EtAc et trimestrielle pour la phéromone.

La troisième composant de l'attractif (Fig. 2) est le SV, dont l'effet repose sur sa capacité à fermenter, la fermentation générant le principe actif (indéterminé) qui renforce la phéromone et l'EtAc. Plus le SV est sucré et humide et plus la synergie est intense et durable. Les SV provenant de palmiers semblent globalement plus efficaces que les autres. A ce niveau l'eau et sa gestion logistique sont critiques d'un point de vue de l'efficacité et de la sensibilité du piège mais aussi du point de vue économique comme on va le voir plus loin.

Au Moyen-Orient l'ampleur du problème CRP et des réseaux de pièges a rendu impossible un usage intensif de tissus de palmiers (stipe bases foliaires) comme SV après quelques années de lutte : trop laborieux et coûteux. Les dates mûres de qualité fourragère sont devenues le synergiste de référence. La pratique la moins coûteuse consiste à immerger les fruits dans l'eau assurant ainsi une fermentation prolongée avec un minimum de travail. La durée de vie du SV et le maintien de son efficacité sont critiques : maintenir au-delà de 15 j un effet mesurable du SV dans les climats arides où l'évaporation est très intense est très difficile autrement qu'en accroissant la quantité d'eau par piège, ce qui est impossible. Une des alternatives proposées est l'apport de propylène glycol à l'eau qui retarde l'évaporation (Oehlschlager, 2007 ; 2010).

Ni les morceaux de palmiers ni les dates, ni d'autres matières végétales fermentescibles brutes et bon marché ne sont disponibles à l'année en quantités importantes et à des coûts acceptables pour alimenter des réseaux de pièges de plus en plus vastes dans l'UE. L'usage de mélasse tend donc à se répandre. La problématique de l'eau nécessaire à la fermentation efficace des SV est la même qu'au Moyen-Orient. Or le coût de la main d'œuvre dans l'UE étant élevé, il y a aujourd'hui une difficulté croissante à entretenir des réseaux de plusieurs centaines voire milliers de pièges qui nécessitent une logistique lourde et très onéreuse pour gérer le SV et l'eau (des tonnes à distribuer régulièrement sur de grandes surfaces) nécessaires à l'émission d'un attractif optimal pour CRP.

Dans ce contexte, on observe une tendance lourde à abandonner l'usage de SV en particulier de type 'palmier' et l'on a mis au point un modèle de piège sec, deux décisions qui allègent considérablement le coût de gestion d'un piégeage du CRP mais qui font l'impasse totale sur le différentiel d'efficacité intrinsèque pour attirer le CRP. De fait, les praticiens

confrontés à des populations de CRP de plus en plus élevées peuvent capturer facilement des charançons dans des pièges appâtés seulement avec de la phéromone avec ou même sans EtAc et ils s'en satisfont y voyant une preuve de l'efficacité de leur système. Aujourd'hui cet équilibre entre efficacité apparente et réduction de coût ouvre à notre sens la porte à un risque sérieux de contre-productivité globale si les moyens de lutte mis en œuvre par ailleurs et les mesures de précautions ne sont pas prises dans le déploiement de tels pièges.

Efficacité moindre et risque *versus* contrainte économique : faire aboutir la recherche

En effet, nous avons montré que si mettre en place de pièges à phéromone + odeur de palmier n'a pas d'influence négative sur l'évolution des niveaux de dégât sur un peuplement de palmiers à grande échelle, les palmiers non protégés chimiquement présents dans un rayon de 20 à 25 m autour des pièges subissaient par contre des attaques supérieures aux palmiers plus éloignés (Rochat, 2005 ; Rochat et Avand-Faghih, non publié). Cet effet qui étaye plusieurs mentions non documentées publiquement résulte probablement de trois phénomènes : la présence accrue de CRP au voisinage des pièges, attirés par la phéromone ; une capacité imparfaite des pièges à capturer ces CRPS attirés ; et un effet de compétition locale entre les palmiers et les pièges : des CRP préfèrent les palmiers aux pièges pour leur orientation finale. Ce dernier point repose très vraisemblablement sur une différence tant quantitative que qualitative des odeurs émises par un piège et un palmier : le second est une source infinie comparée au premier et la qualité de l'odeur végétale émanant d'un piège varie et perd de son efficacité synergique avec le temps.

Ces hypothèses sont aujourd'hui soutenues par des observations et des mesures d'orientation à courte distance des CRP et des préférences des CRP confrontés à des sources de phéromone, d'odeur de palmier et d'EtAc distinctes et plus ou moins proches (Avand-Faghih *et al.*, en préparation). Elles ne doivent pas mener à un rejet du piégeage comme méthode dangereuse car l'apport de ce dernier, conduit avec rigueur et lucidité sur ses avantages et limites, est un outil inestimable. Par contre il est impératif de connaître les limites biologiques et pratiques qui peuvent générer des effets indésirables problématiques.

Ces éléments sont résumés sur le schéma de la Figure 2 qui synthétise les éléments connus ou très probables relatifs à l'effet des constituant attractifs utilisés pour piéger le CRP, à l'existence d'un risque de contamination des palmiers situés à moins de 25 m d'un piège et aux mouvements de CRP dans 4 situations types qui combinent la mise en œuvre d'une protection insecticide des palmiers ou non dans la zone à risque et d'un appât/odeur végétal optimal ou non (pas de SV voire pas d'EtAc).

Les contraintes économiques fortes qui incitent les praticiens à ne pas utiliser de SV et/ou d'eau dans les pièges sont compréhensibles et ce d'autant plus que la menace CRP s'accroît et demande la mise en place de réseaux de pièges toujours plus vastes. Ce choix doit être fait en toute connaissance que l'attractif simplifié utilisé alors n'offre pas la meilleure sensibilité au piège et est porteur d'un effet de recrutement de CRP à distance dont une partie n'ira pas dans les pièges parce que l'odeur qu'il diffuse ne le permet pas. Ce phénomène n'engendre pas de risque direct pour des palmiers situés à plus de 25 m de tels pièges et a fortiori loin de tout palmier. Il n'en va pas de même pour les palmiers au voisinage immédiat des pièges (zone rouge Fig. 2D-G) : des CRP non motivés pour entrer dans ces pièges risquent au contraire de finir sur ces palmiers. Ce risque peut être géré efficacement par une protection insecticide systématique des plants concernés. Le coût des différentes options et la balance risque – bénéfique doivent être examinés sérieusement.

CONCLUSION

Le CRP est un ravageur redoutable dont la gestion est difficile et onéreuse. En dépit d'une situation très difficile et de pertes lourdes, il demeure possible de le contenir en particulier de

préservés des espaces encore indemnes ou peu touchés. Des progrès nets dans le suivi des symptômes, la connaissance de la biologie du ravageur, le contrôle des mouvements de palmiers et des techniques curatives non destructrices ont été obtenus ces 5 dernières années. Dans le même temps le piégeage à l'aide de phéromone reste un outil très utile et compatible avec une gestion zéro phyto. Toutefois le coût logistique trop élevé de cette méthode pour assurer une sensibilité optimale par l'usage d'un co-attractif naturel qui demande un renouvellement fréquent conduit à privilégier des appâts sub-optimaux. Cette évolution présente un danger certain si les pièges sont disposés au voisinage direct de palmiers dont le risque d'infestation est accru, parce qu'une partie des insectes attirés par les pièges risquent d'atterrir sur ces palmiers. Ce risque peut être géré par une protection insecticide systématique des palmiers concernés ou le déploiement de ces pièges à appât simplifié à distance des palmiers. Ces évolutions contraintes par des raisons économiques renforcent la nécessité de faire aboutir les recherches en cours qui visent à caractériser et développer un attractif synthétique totalement mimétique du palmier et qui réunira à la fois ces propriétés d'attraction optimale vis-à-vis des insectes et une facilité d'emploi avec un renouvellement peu fréquent.

BIBLIOGRAPHIE

- Abbas M. S. T., Hanounik S. B., Shahad A. S., Al-Bagham S. A., 2006 - Aggregation pheromone traps, a major component of IPM strategy for the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* in date palms. *J. Pest Sci.*, 79, 69-73.
- Abdallah S., Al-Abbad A. H., Dan A. M. D., Ben Abdallah A., Faleiro J. R., 2008 - Enhancing trapping efficiency of Red palm weevil pheromone traps with ethyl acetate. *Indian J. Plant Prot.*, 36, 310-311.
- Abe F., Ohkusu M., Kubo T., Kawamoto S., Sone K., Hata K., 2010 - Isolation of yeast from palm tissues damaged by the red palm weevil and their possible effect on the weevil overwintering. *Mycoscience*, 51: 215-223.
- Abozuhairah R. A., Vidyasagar P. S. P. V., Abraham V. A., 1996 - Integrated Management of Red Palm Weevil *Rhynchophorus ferrugineus* in Date Palm Plantations of the Kingdom of Saudi Arabia. Actes du 20e Congrès International d'Entomologie, Florence, Italie, 541.
- Aldryhim Y., Al-Bukiri S. 2003 - Effect of irrigation on within-grove distribution of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*. *Sultan Qaboos University Journal for Scientific Research - Agricultural and Marine Sciences*, 8, 47-49.
- Aldryhim Y., Khalil A., 2003 - Effect of humidity and soil type on survival and behaviour of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) adults. *Sultan Qaboos University Journal for Scientific Research - Agricultural and Marine Sciences*, 8, 87-90.
- Alfaro C., Vacas S., Navarro-Llopis V., Primo J. 2011 - Aplicación de los semioquímicos en el manejo de *Rhynchophorus ferrugineus*. Diseño y desarrollo de una nueva trampa para la captura de adultos. *Phytoma España*, 226, 24-28.
- Al-Saoud A. H., 2010 - Effect of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) aggregation pheromone traps' height and colors on the number of captured weevils. *Acta Horticulturae*, 882, 419-429.
- Ávalos J. A., Soto A., 2010 - Mejora de la eficacia del trapeo de adultos de *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Dryophthoridae) mediante atracción cromática. *Phytoma España*, 223, 38-42.
- Avand-Faghieh A., 2004 - Identification et application agronomique de synergistes végétaux de la phéromone du charançon *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) 1790. Thèse de doctorat de l'INA-PG, Paris, France. 171 p.
- Dembilio Ó, Jacas J. A., 2011 - Basic bio-ecological parameters of the invasive Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae), in *Phoenix canariensis* under Mediterranean climate. *Bull. Entomol. Res.*, 101, 153-163.
- Dembilio Ó, Tapia G. V., Téllez M. M., Jacas J. A., 2012 - Lower temperature thresholds for oviposition and egg hatching of the Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*

- (Coleoptera: Curculionidae), in a Mediterranean climate. *Bull. Entomol. Res.*, 102, 97-102.
- Dembilio Ó., Jacas J. A., Llacer E., 2009 - Are the palms *Washingtonia filifera* and *Chamaerops humilis* suitable hosts for the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Col. Curculionidae)? *J. Appl. Entomol.*, 133, 565-567.
- Dembilio Ó., Karamaouna F., Kontodimas D. C., Nomikou M., Jacas J. A., 2011 - Susceptibility of *Phoenix theophrasti* (Palmae: Coryphoideae) to *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) and its control using *Steinernema carpocapsae* in a chitosan formulation. *Spanish J. Agric. Res.*, 9, 623-626.
- El-Sayed A. M., Suckling D. M., Wearing C. H., Byers J. A., 2006 - Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *J. Econ. Entomol.*, 99, 1550-1564.
- El-Sebay Y., 2003 - Ecological studies on the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv., (Coleoptera : Curculionidae) in Egypt. *Egyptian J. Agric. Res.*, 81, 523-529.
- Faleiro J. R., 2005 - Pheromone technology for the management of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera : Rhynchophoridae) – A key pest of coconut. Technical Bulletin n°4, ICAR Research Complex for Goa, Inde, 40 p.
- Faleiro J. R., 2006 - A review of the issues and management of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Rhynchophoridae) in coconut and date palm during the last one hundred years. *Intl J. Trop. Insect Sci.*, 26, 135-154.
- Faleiro J. R., Kumar J. A., Rangnekar P. A., 2002 - Spatial distribution of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. (Coleoptera: Curculionidae) in coconut plantations. *Crop Prot.*, 21, 171-176.
- Ferry M., Gómez S., 2008 - Une nouvelle stratégie contre le charançon rouge des palmiers. *Phytoma - La Défense des Végétaux*, 620, 24-28.
- Fiaboe K. K. M., Peterson A. T., Kairo M. T. K., Roda A. L., 2012 - Predicting the potential worldwide distribution of the Red Palm Weevil *Rhynchophorus Ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) using ecological niche modeling. *Fla Entomol.*, 95, 659-673.
- FREDON Corse, 2008 - Captures cumulées du charançon rouge du palmiers à Porto Vecchio Pièges 1 à 6 Janvier 2007 – décembre 2007, <http://www.fredon-corse.com/standalone/1/67AE94k976n9907R9coAZTY2.pdf> (consulté le 10 novembre 2012).
- Guarino S., Lo Bue P., Peri E. & Colazza S. 2011 - Responses of *Rhynchophorus ferrugineus* adults to selected synthetic palm esters: electroantennographic studies and trap catches in an urban environment. *Pest Manag. Sci.*, 67: 77-81.
- Gunawardena N. E., Kern F., Janssen E., Meegoda C., Schäfer D., Vostrowsky O., Bestmann H. J. 1998 - Host attractants for red weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*: identification, electrophysiological activity, and laboratory bioassay. *J. Chem. Ecol.*, 24, 425-437.
- Hallett R. H., Gries G., Gries R., Borden J. H., Czyzewska E., Oehlschlager A. C., Pierce H. D. Jr, Angerilli N. P. D., Rauf A., 1993 - Aggregation pheromones of two Asian palm weevils, *Rhynchophorus ferrugineus* and *R. vulneratus*. *Naturwissenschaften* 80, 328-331.
- Hallett R. H., Oehlschlager A. C., Borden J. H., 1999 - Pheromone trapping protocols for the Asian palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera : Curculionidae). *International J. Pest Manag.*, 45, 231-237.
- J.O. UE, 2007 - Décision 2007/365/EC de la Commission 2007/365/EC relative à des mesures d'urgence destinées à éviter l'introduction et la propagation dans la Communauté de *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) [notifiée sous le numéro C (2007) 2161]. *J.O. de l'Union Européenne*, L 139, 24-27.
- Martín M. M., Cabello G. T., 2004 - Biología y ecología del curculiónido rojo de la palmera, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera: Dryophthoridae): Thèse de doctorat de l'Université d'Almería, Espagne.
- Martín R., González A., Barroso L., Morales M., Hernández C. D., Rodríguez, X., Fajardo M., Sous Presse - Plan de surveillance, de lutte et d'éradication du charançon rouge dans les îles Canaries (Espagne). Actes de la conférence méditerranéenne sur les ravageurs des palmiers, Association Française de Protection des Plantes (Ed.), Nice.

- Martínez Tenedor J., Gómez Vives S., Ferry M., Díaz Espejo G., 2008 - Ensayos en túnel de viento para la mejora de la eficacia de las trampas de feromona de *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Dryophthoridae), picudo rojo de la palmera. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas*, 34, 151-161.
- Oehlschlager A. C., 2007 - Optimizing trapping for Palm weevils and beetles. *Acta Horticulturae*, 736, 347-368.
- Oehlschlager A. C., 2010 - Efficiency and longevity of food baits in palm weevil traps. *Acta Horticulturae*, 882, 399-406.
- OEPP (Organisation Européenne et Méditerranéenne de Protection des Plantes), 2008 - Data sheets on quarantine pests *Rhynchophorus ferrugineus*. *OEPP/EPPO Bull.*, 38, 55-59.
- Raciti E., Conti F., Carta Cerrella D, Morabito M., Li Destri A., Malfitana S., Romano D., sous presse - Palm species potentially resistant to red palm weevil attacks in sites of Eastern Sicily heavily infested. Actes de la conférence méditerranéenne sur les ravageurs des palmiers, Association Française de Protection des Plantes (Ed.), Nice.
- Rochat D., 2005 - Olfactory trapping of Red Palm Weevil : Drawbacks and Prospect, Proceedings of the 1st International Workshop on Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. Agroalimed et Generalitat Valenciana (Ed.), Moncada, Espagne, 99-104.
- Rochat D., Chapin E., Ferry M., Avand-Faghih A., Brun L., 2006 - Le charançon rouge du palmier dans le bassin méditerranéen. *Phytoma - La Défense des Végétaux*, 595, 20-24.
- Rochat D., Gonzalez V. A., Mariau D., Villanueva G. A., Zagatti P., 1991 - Evidence for male-produced aggregation pheromone in American Palm Weevil, *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: Curculionidae). *J. Chem. Ecol.*, 17, 1221-1230.
- Salem M. S., Belal M. H., Nour M. E., Sayed E. A., 2012 - Detection of a chemical marker from ovipositing females in *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier, (Coleoptera, Curculionidae). *Adv. Environ. Biol.*, 6, 2164-2169.
- Sansano M. P., Gomez-Vives S., Ferry M., Diaz-Espejo G., 2008 - Ensayos de campo para la mejora de la eficacia de las trampas de captura de *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (Coleoptera: Curculionidae), picudo rojo de la palmera. *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas* 34, 135-145.
- Schmidt-Buesser D., Couzi P., Renou M., Rochat D. 2010 - Comparative locomotory response of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. (Coleoptera, Curculionidae) to biogenic odours presented alone or combined. Actes du 26^e congrès annuel de la Société Internationale d'Écologie Chimique (ISCE), Tours, France, 264.
- Soroker V., Blumberg D., Haberman A., Hamburger-Rishard M., Reneh S., Talebaev S., Anshelevich L., Harari A. R.,? 2005 - Current status of red palm weevil infestation in date palm plantations in Israel. *Phytoparasitica* 33: 97-106.
- Tapia G., Martín E., Ruiz M.-A., Cabello T., Téllez M.-M., 2010 - Evaluación en campo del efecto del color de la trampa para las capturas masivas del picudo rojo de la palmera, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera: Dryophthoridae). *Boletín de Sanidad Vegetal, Plagas*, 36, 171-178.
- Wattanapongsiri A., 1966 - A revision of the genera *Rhynchophorus* and *Dynamis* (Coleoptera: Curculionidae). *Department of Agriculture Science Bulletin (Bangkok)*, 1, 1-328.
- Witzgall P., Kirsch P., Cork A., 2010 - Sex Pheromones and their impact on pest management. *J. Chem. Ecol.*, 36, 80-100.

Tableau I : Constantes de développement et valeurs thermiques seuils pour les différents stades de *R. ferrugineus* et l'activité des adultes.

Thermal constants and thresholds for the various developments stages of *R. ferrugineus* and adult activity.

Température (°C)	Stade			
	œuf	Larve L1	L2 - L13	Nymphe Adulte
Létale	10 ^{a,b}	10 ^b	4,5 ^b	5-10 ^d <10 ^{a,d}
Seuil de développement	14 ^c	15 ^a	13 ^a	-
Somme nécessaire (degré.jour)	40 ^b	667 ^b	283 ^b	-
Minimum pour la ponte	-	-	-	15,5 ^{c,d}
Minimum pour la prise alimentaire	-	15 ^a	-	10-15 ^d
Minimum pour le vol	-	-	-	<18 ^d

^a Martín et Cabello, 2005 ; ^b Dembilio et Jacas, 2011 ; ^c Dembilio *et al.*, 2012 ; ^d INRA, Palm Protect, non publié.

Figure 1 : Efficacité comparée des appâts disponibles pour piéger *R. ferrugineus* et valeur cognitive associée pour l'insecte. Il s'agit d'une représentation schématique des connaissances actuelles avec des ordres de grandeur indicatifs. Le trait associé à un niveau médian de captures figure la variabilité associée (1^{er} et 3^e quartiles). Les valeurs cognitives sont : alim. : alimentaire, sex. : sexuelle et +++ effet quantitatif renforcé. Appâts odorants typiques : Phér. : phéromone, 10 mg/j ; EtAc : acétate d'éthyle, 200 mg/j ; OVég. : odeur végétale, issue de 300-400 g de matériel 'palmier' frais, humide et riche en sucre qui fermente de façon prolongée (piège à eau) et est renouvelé régulièrement. Les appâts odorants sont associés à un piège optimisé pour sa capacité à permettre l'entrée des CRP et à empêcher leur fuite dans les conditions locales d'emploi.

Comparative efficiency of the baits available to trap *R. ferrugineus* (relative scale) and cognitive value of each lure for RPW. This is a schematic representation based on a review of current knowledge. The orders of magnitude are indicative. The line associated to a median level of captures figures the corresponding variability (1st and 3rd quartiles). The cognitive values are: alim. alimentary, sex. : sexual, and +++ enhanced quantitative effect. Typical odour lures: Phér. : pheromone, 10 mg/d ; EtAc : ethyl acetate, 200 mg/j ; OVég. : Plant odour from 300-400 g of fresh palm material, moist and rich in sugars, which ferments over long periods (water trap) and is regularly renewed. The odour lures are used in a trap optimised for its capacity to let RPWs in and prevent them from escaping under local conditions of use.

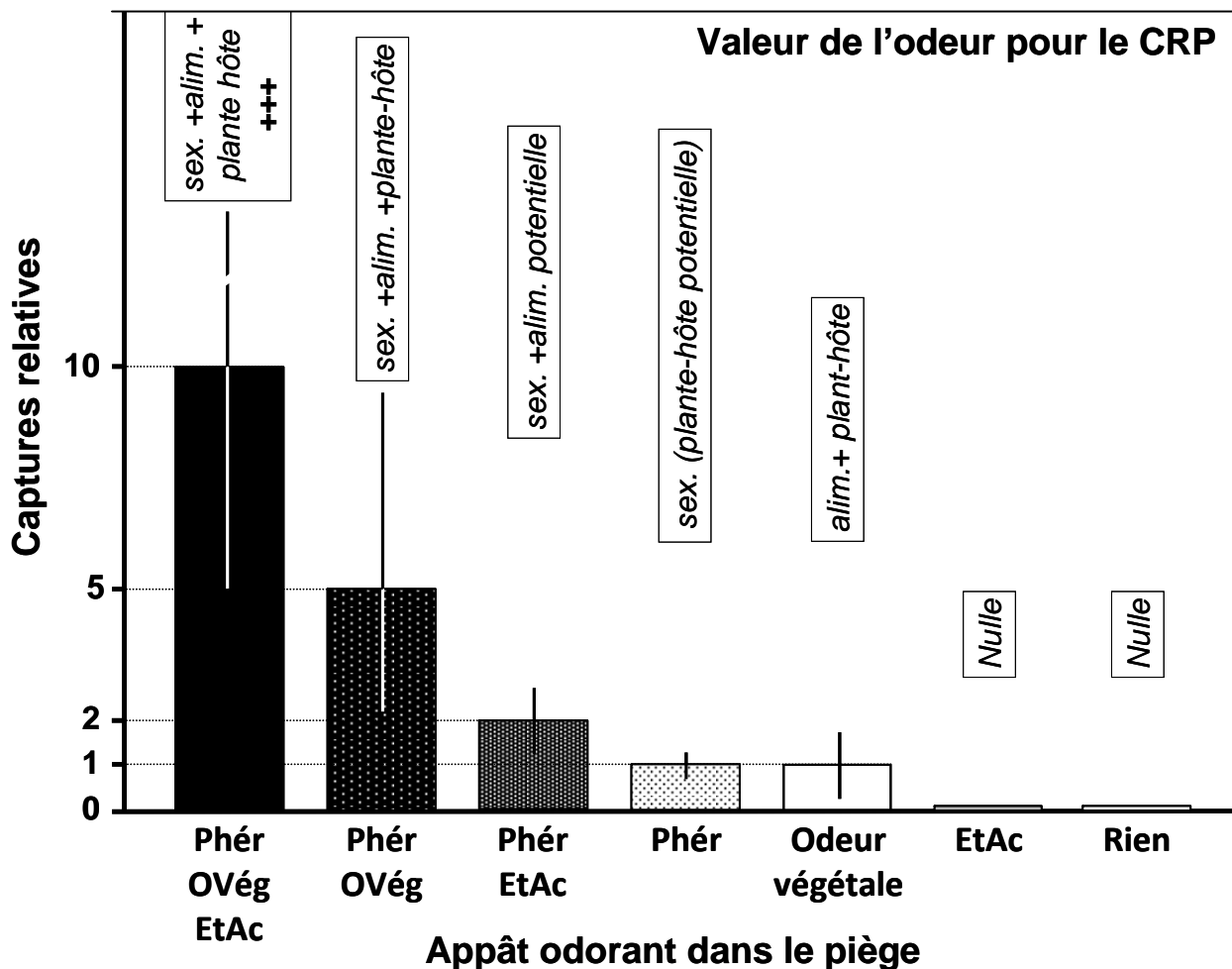
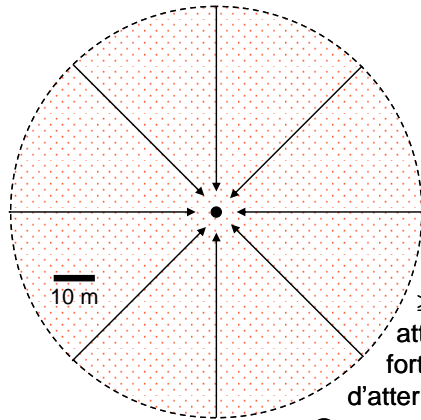


Figure 2 : Diagrammes conceptuels résumant l'effet comportemental des attractifs nécessaires pour piéger *R. ferrugineus* (**A**, odeur de palmier seule, **B**, phéromone + odeur de palmier et **C**, phéromone seule), l'interaction entre piège et palmier, l'efficacité du piège et le risque pour un palmier situé au voisinage du piège (< 25 m ; zone à risque) selon 4 situations types (**D** à **G**) combinant la mise en œuvre d'une protection insecticide des palmiers ou non dans la zone à risque et d'un appât/odeur végétal optimal vis-à-vis du CRP ou non. Les ordres de grandeur sont indicatifs, établis à partir de nos propres essais et de l'interprétation des données de la littérature.

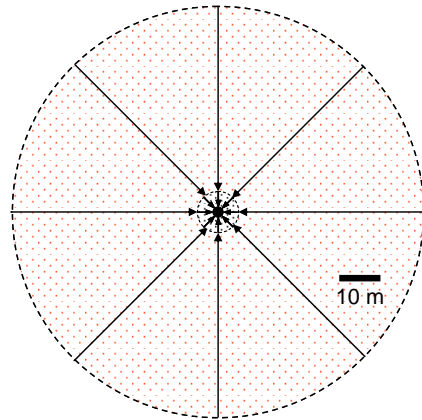
Conceptual diagram to summarise the behavioural effect of the attractants necessary to trap *R. ferrugineus* (**A**, palm odour only, **B**, pheromone + palm odour and **C**, pheromone only), interaction between trap and palm tree, trap efficiency and risk to the palm tree in the vicinity of the trap (< 25 m ; risk area) selon according to 4 model situations (**D** to **G**) that combine insecticide protection or not of the palm trees in the risk zone, and use of an plant lure/bait optimal or not for RPW. The orders of magnitude are indicative and established after our own trials and the interpretation of literature data.



A. Odeur de palmier
 attraction faible : <10 m
 arrêt / atterrissage : 'effet aimant'

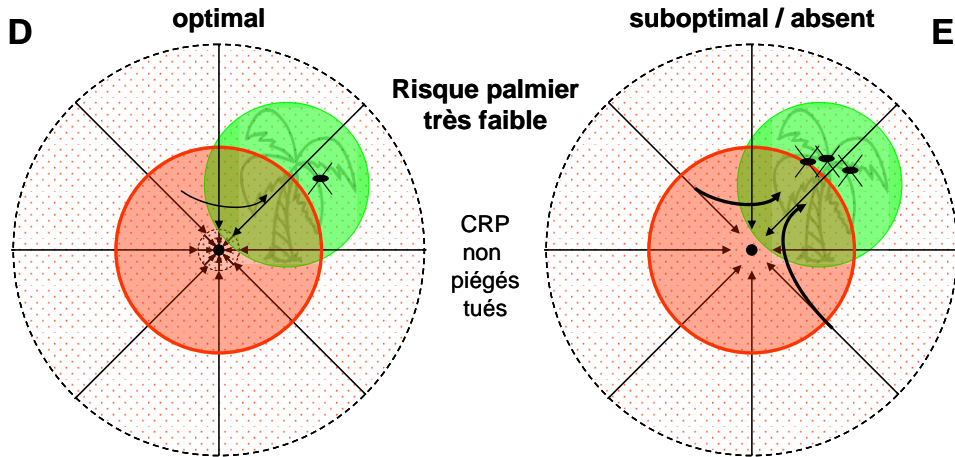


B. Pheromone + Odeur de palmier
 ≥ 100 m attraction forte + atterrissage
 à la source : 'effet aimant'



≥ 100 m
 attraction forte ; peu d'atterrissage
C. Pheromone

Appât / odeur végétale (Pheromone optimale)

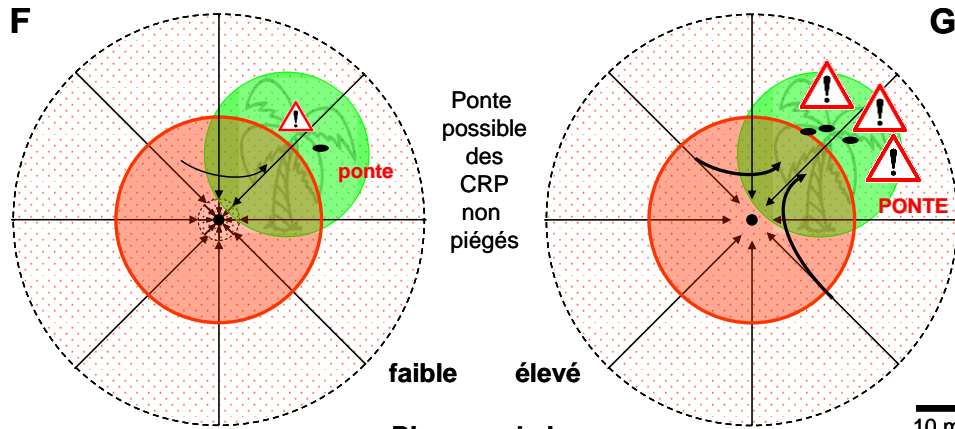


• Piège
 sensibilité / rendement

Protégé par insecticide

excellent médiocre

Palmier en zone rouge (< 25 m piège)



faible élevé
 Risque palmier

