

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Octobre 2018

Édition scientifique



anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Octobre 2018

Édition scientifique

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 26 octobre 2018

AVIS **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,** **de l'environnement et du travail**

relatif aux « stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier »

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L. 1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont publiés sur son site internet.

L'Anses a été saisie le 30 mai 2017 par la Direction générale de l'alimentation du Ministère en charge de l'Agriculture pour la réalisation de l'expertise suivante : Saisine relative aux stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

La communauté scientifique internationale (source : publication FAO d'avril 2017) s'accorde sur l'importance de la combinaison des mesures de lutte en fonction des niveaux d'infestation par le charançon rouge du palmier. Plusieurs mesures de lutte sont disponibles ou envisageables : assainissement mécanique, application d'insecticides à titre préventif ou curatif, piégeage de masse et biocontrôle (lutte biologique *sensu stricto*). Il est à noter que plusieurs expérimentations sur le biocontrôle sont en cours.

Dans la perspective d'améliorer les stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier, il est demandé :

- i) D'identifier les stratégies de lutte (en tant que combinaison de différentes méthodes de lutte) les plus pertinentes en fonction du niveau d'infestation et de l'objectif poursuivi (éradication/stabilisation de la population),
- ii) de proposer également des scénarios incluant les méthodes en cours de développement, des scénarios mobilisant uniquement des méthodes non chimiques ou de biocontrôle, et,

iii) de veiller d'une manière générale à identifier le cadre réglementaire dans lequel peuvent s'inscrire chacun d'entre eux.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'Anses a confié au groupe de travail « Charançon rouge du palmier 2 », rattaché au comité d'experts spécialisé « Risques biologiques pour la santé des végétaux » l'instruction de cette saisine.

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES « Risques biologiques pour la santé des végétaux » (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Les travaux ont été présentés au CES pour discussion, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques, le 23/01/2018, le 20/03/2018, le 15/05/2018, le 04/07/2018 et le 19/09/2018.

Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'Anses (www.anses.fr).

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES ET DU GT

La répartition des palmiers est très hétérogène à l'échelle du territoire national. L'occurrence du CRP, avec des populations localement bien établies et en croissance continue depuis une dizaine d'années sur le pourtour méditerranéen, et des détections sporadiques dans les régions plus septentrionales ont conduit le GT à distinguer deux zones, correspondant chacune à deux dynamiques spatio-temporelles distinctes :

- une zone 1 dite « méditerranéenne »¹, dans laquelle l'analyse tend à montrer qu'il est quasiment impossible d'arriver à éradiquer le CRP, et où l'objectif réaliste le plus ambitieux serait de stabiliser la population de CRP et réduire son impact sur la mortalité des palmiers, tout en contrôlant aussi longtemps que possible son aire d'extension géographique avec maintien des efforts de piégeage et de détection visuelle dans les communes situées en zone tampon du périmètre de lutte tel qu'actuellement défini (zone tampon : 10 km autour de la zone de sécurité ; zone de sécurité : 100 m autour de la zone contaminée ; zone contaminée : 100 m autour du palmier ou du piège) ;
- une zone 2 dite « centre-atlantique » où le contrôle strict du CRP en vue de son éradication doit toujours être d'actualité.

Les experts de la FAO (FAO, 2017), sur le rapport desquels le GT s'est appuyé, indiquent que « les besoins en matière de lutte contre l'organisme nuisible sont directement corrélés à l'évolution des populations du CRP ».

¹ La zone méditerranéenne prise en considération par le GT est limitée au territoire national

Ce constat les conduit à envisager trois scénarios, ici réaffirmés, face à la multiplication du CRP :

- 1 - « Les moyens sont supérieurs aux besoins. Il s'agit du scénario gagnant : les populations de CRP régressent irréversiblement et rapidement. »
- 2 - « Les moyens demeurent plus au moins égaux aux besoins. Les populations d'organismes nuisibles restent stables. On peut considérer que le CRP est sous contrôle mais, chaque année un certain pourcentage de palmiers est perdu. »
- 3 - « Les moyens sont inférieurs aux besoins. Il s'agit du scénario perdant. Les populations de CRP croissent à un rythme exponentiel. Les moyens à mettre en œuvre pour lutter contre l'organisme nuisible croissent aussi à un rythme exponentiel et l'écart, entre les besoins et les moyens disponibles, se creuse inexorablement. C'est une course inutile et perdue d'avance (FAO, 2017). »

La situation de la zone 2 « centre-atlantique », du fait de la faible densité de palmiers et de la faible pression du CRP, relève du scénario 1. La stratégie proposée par la FAO au gestionnaire (instance nationale en charge de la protection des végétaux) peut localement aboutir à l'éradication du CRP, et donc au maintien d'une partie du territoire national exempté de ce ravageur soumis à des mesures de lutte obligatoire.

La stratégie proposée pour cette zone s'appuie sur :

- des mesures réglementaires pour l'importation de plants de palmiers en provenance de pays tiers (intra-UE et hors-UE), éventuellement complétées par des mesures de quarantaine végétale, et pour la circulation des palmiers de la zone 1 « méditerranéenne » vers les régions de la zone 2 « centre-atlantique » ;
- une surveillance et un suivi phytosanitaire des palmiers avec des inspections visuelles et un piégeage des CRP intégrant un Système d'Information Géographique (SIG) permettant de planifier et coordonner efficacement toutes les actions (inspection, traitement, piégeage, abattage des palmiers) sur la base d'une description très précise et exhaustive de la réalité de terrain ;
- la réalisation et la mise à disposition d'une application mobile de suivi et d'une base de données en ligne de capitalisation des informations (adaptation possible de l'application développée aux Canaries).
- la mise en œuvre rapide des assainissements mécaniques allant jusqu'à l'élimination des palmiers gravement infestés et l'utilisation de méthodes de protection chimique ou biologique suffisamment efficaces ;
- la protection préventive des palmiers autour des foyers émergents ;
- la sollicitation des collectivités territoriales et de leurs services des espaces verts, des professionnels du secteur horticole (pépinières et jardinerie) pour la surveillance, la communication et la vulgarisation.

La situation dans la zone 1 « méditerranéenne », compte tenu de l'analyse qui a été faite par le GT de la dynamique du CRP depuis son premier signalement en 2006, relève du scénario 3.

Au terme de cette expertise, le GT tient à rappeler que l'évaluation de l'efficacité des différentes méthodes de lutte repose sur des données provenant d'études scientifiques ou des sociétés commercialisant des produits phytopharmaceutiques qui documentent généralement l'efficacité potentielle, et beaucoup plus rarement sur des données épidémiologiques issues de dispositifs

expérimentaux de terrain. Des incertitudes élevées demeurent donc, quant à l'évaluation du niveau d'efficacité de ces méthodes.

Pour cette raison, le GT estime que la promotion, par des sociétés, de certaines méthodes de lutte auprès de collectivités, voire de particuliers, suscitent des espoirs qui pourraient s'avérer partiellement infondés, voire préjudiciables à leur engagement durable dans une lutte collective, à défaut de retour d'expérience sur le terrain validé de façon rigoureuse. Dans ce contexte, le GT tient à saluer l'action de certaines associations œuvrant à la protection des palmiers et à la diffusion de connaissances auprès des particuliers, tout en les mettant en garde contre la tentation de diffuser des solutions n'ayant pas réellement fait leurs preuves sur le terrain ou non autorisées.

Le GT a fait des recommandations sur le choix de stratégies à mettre en œuvre pour la zone 1, en fondant son analyse sur :

- une évaluation multicritère des différentes méthodes de lutte existantes ;
- le choix de taux de couverture réalistes (proportion de palmiers à traiter, en distinguant approches curatives et préventives) au regard de l'impact sur la dynamique du CRP qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, s'appuyant sur les sorties préliminaires d'un modèle théorique simple de dynamique des populations de CRP (élaboré en marge du traitement de cette saisine ; voir plus bas) ;
- la nature des stratégies retenues (curative vs. préventive) et des combinaisons de méthodes actuellement opérationnelles et autorisées ;
- une évaluation multicritère de ces stratégies, en prenant en compte le coût de leur mise en œuvre à l'échelle d'un « territoire » (exemple de la CAVEM) ou pour un nombre fixe de palmiers patrimoniaux à protéger.

Les résultats de cette analyse, avec toutes les approximations qu'il a été nécessaire de faire, confirment que, dans la zone 1 « méditerranéenne », les moyens à mettre en œuvre pour éradiquer le CRP sont colossaux. Les expériences des autres pays touchés par le CRP en compartiment urbain, notamment dans les Iles Canaries et en Israël (dont le GT a préalablement rappelé et analysé finement la situation), corroborent ces résultats. La progression du CRP dans la zone 1 « méditerranéenne », continue malgré les efforts déployés par plusieurs collectivités territoriales et les services de l'Etat, est également un indicateur de l'impossibilité d'éradiquer le CRP du territoire national.

Les stratégies de lutte retenues et évaluées ont été classées en quatre types, en fonction de la nature de l'approche :

- A - Curatif et préventif sur tous les palmiers ;
- B - Curatif sur tous les palmiers infestés et préventif seulement sur une sélection de palmiers (échantillon non ciblé et/ou palmiers d'intérêt patrimonial) ;
- C - Curatif et préventif seulement sur une sélection de palmiers (échantillon non ciblé et/ou palmiers d'intérêt patrimonial) ;
- D - Préventif seulement sur une sélection de palmiers d'intérêt patrimonial.

Pour chaque type de stratégie, six combinaisons de méthodes préventives ont été considérées :

- 1 - Une injection annuelle de benzoate d'émamectine ;
- 2 - Un piégeage de masse ;
- 3 - Une injection annuelle de benzoate d'émamectine combinée à un piégeage de masse ;

- 4 - Des applications de *Beauveria bassiana* (souches 203, 147 ou 111), de *Steinernema* (nématode Biorend N) et un piégeage de masse ;
- 5 - Des applications de *Beauveria* et de *Steinernema* ;
- 6 - Des applications de *Beauveria* et un piégeage de masse.

L'abattage n'a pas été considéré comme une méthode curative *sensu stricto* car il conduit à l'élimination du palmier infesté et qu'en pratique il doit de toute manière être associé à l'ensemble des stratégies évaluées.

Le traitement des palmiers à l'imidaclopride n'a été retenu dans aucune stratégie (bien que son efficacité soit avérée) compte tenu de l'entrée en vigueur de la nouvelle réglementation nationale relative aux néonicotinoïdes qui interdit leur usage depuis le 1^{er} septembre 2018 (article L253-8-II. du code rural et de la pêche maritime) ainsi que du règlement européen 2018-783 qui restreint l'utilisation des produits aux seuls usages sous serres.

Le nombre d'alternatives chimiques à l'imidaclopride autorisées est restreint : seuls trois produits phytopharmaceutiques bénéficient actuellement d'une autorisation de mise sur le marché. En conséquence, le GT suggère d'encourager la recherche et l'expérimentation de nouvelles méthodes de lutte (chimiques de synthèse ou biologiques) et d'envisager la possibilité d'utiliser des substances actives bénéficiant d'une dérogation (« dérogation 120 jours » ou « usage mineur » dans le cadre d'un arrêté de lutte obligatoire).

Le GT estime par ailleurs que la situation des pépinières spécialisées dans la production et la commercialisation de palmiers dans la zone contaminée mérite une attention toute particulière. Si l'action de ces acteurs professionnels s'avère cruciale dans la lutte contre le CRP, ces derniers se trouvent actuellement dans une impasse (par exemple, impossibilité de traiter les palmiers de petites tailles avec 100% d'efficacité) qui nécessite l'attention des pouvoirs publics.

L'analyse du GT a permis d'identifier les stratégies les plus satisfaisantes (meilleurs rapport coût/effets), c'est-à-dire maximisant les chances d'arriver à une stabilisation des populations de CRP avant la disparition de la majorité des palmiers.

Pour estimer les moyens techniques et les coûts associés (et donc la capacité des collectivités à adhérer à un plan de lutte exhaustif de grande ampleur), le GT s'est basé sur des taux de couverture distincts (proportion de palmiers à traiter, curativement et/ou préventivement) :

- 1 (totalité des palmiers à traiter ; scénario jugé irréaliste du point de vue de l'opérationnalité et du coût) ou 0,4 (40% des palmiers à traiter ; scénario jugé réaliste) pour les stratégies curatives ;
- 1 (totalité des palmiers à traiter ; scénario jugé irréaliste du point de vue de l'opérationnalité et du coût) ou 0,1 (10% des palmiers traités ; scénario jugé réaliste) pour les stratégies préventives. Le taux de couverture pris en compte par le GT dans le cadre d'un scénario de traitement préventif est plus faible car le nombre de palmiers sains est plus élevé que le nombre de palmiers attaqués par le CRP.

Le choix des taux de couverture 0,1 et 0,4 a permis de comparer des coûts associés à la mise en œuvre de deux types de stratégies et de différentes combinaisons de méthodes de lutte. Le GT rappelle que le coût de la main d'œuvre a été estimé pour chaque méthode de lutte de manière à ce que la comparaison des coûts de chaque stratégie soit aussi pertinente que possible.

Il convient de préciser que le modèle théorique de dynamique des populations auquel il est fait allusion plus haut, a été élaboré en marge du traitement de cette saisine. Il a constitué pour le GT un outil de réflexion, mais ne peut en aucun cas être considéré comme un outil de simulation ou

d'aide à la décision permettant de prévoir l'effet des stratégies sur la dynamique future du CRP. Il visait à pallier l'absence de jeu de données épidémiologiques centralisé et analysable. Le développement d'un tel modèle correspond à un travail de recherche complémentaire conséquent qui mériterait certainement d'être soutenu et poursuivi en dehors du cadre des travaux du CES Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux, par exemple dans le cadre des activités de la nouvelle plateforme d'épidémiologie DGAL-Inra-Anses-Fredon France-Acta²-APCA³. Un travail complémentaire de ce type permettrait d'approfondir la réflexion sur les dynamiques possibles de l'infestation en fonction des stratégies de lutte mises en œuvre. Cette perspective ne doit toutefois pas retarder les décisions en matière de gestion du CRP prises sur la base de ce rapport.

Lorsque le critère « coût » a été mis en avant dans l'analyse multicritère, les stratégies impliquant l'injection de benzoate d'émamectine combinée ou non au piégeage de masse sont ressorties comme étant les plus satisfaisantes.

Lorsque le critère « innocuité pour l'environnement » a été surpondéré, c'est en revanche la combinaison des deux produits de lutte biologique associés au piégeage de masse qui est arrivée en tête. La méthode « Attract-and-Kill » bien que n'étant pas encore (totalement) opérationnelle sur le terrain est ressortie de cette analyse comme étant potentiellement très intéressante. Son développement nécessiterait d'être soutenu (recensement des sociétés ou instituts en capacité de proposer la méthode, finalisation des tests d'efficacité, expérimentations à l'échelle d'un territoire, procédure accélérée d'autorisation de mise sur le marché).

Au final, le GT estime que stabiliser les populations de CRP serait très coûteux et nécessiterait une action sur le long terme sur l'ensemble des communes du littoral méditerranéen, sans exception. Pour ce faire, les stratégies retenues par le gestionnaire pour protéger les palmiers devraient intégrer une combinaison de méthodes de lutte qui suivent les recommandations de la FAO.

Un objectif alternatif, pragmatique, pour le gestionnaire pourrait être de protéger des palmiers sélectionnés pour leur importance patrimoniale et de proposer des espèces végétales de remplacement pour les zones non protégées qui satisfassent les exigences socio-économiques des territoires concernés. Il convient dans le même temps de prendre des mesures qui limitent l'extension du CRP dans les secteurs où il n'est pas encore présent. Il serait toujours possible pour des particuliers de protéger, à une échelle réduite, un ou plusieurs palmiers en mettant en œuvre les stratégies identifiées comme les plus satisfaisantes dans cette analyse.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail considère que sur la base de l'expertise réalisée par le GT deux situations dans la lutte contre le charançon rouge du palmier sont à prendre en considération : i) la situation de la zone dite « centre-atlantique » pour laquelle une éradication du CRP est possible et ii) la situation de la zone

² ACTA : fédération des 15 instituts techniques agricoles

³ APCA : Assemblée permanente des Chambres d'agriculture

dite « méditerranéenne » pour laquelle la recherche d'une stabilisation des populations de CRP est envisageable mais demeure ambitieuse et coûteuse.

Pour la zone « méditerranéenne », les stratégies de lutte proposées par le GT résultent d'une évaluation multicritère des différentes méthodes de lutte existantes intégrant des approches curatives et/ou préventives. Les critères pris en compte pour l'évaluation sont l'efficacité des méthodes de lutte, leur innocuité et leur coût.

L'évaluation multicritère réalisée par le GT a permis de hiérarchiser les différentes stratégies entre elles en accordant, éventuellement, un poids plus ou moins important à l'un ou l'autre des critères. Ainsi, lorsque le critère « coût » a été considéré comme le principal critère, les stratégies impliquant l'injection de benzoate d'émamectine combinée ou non au piégeage de masse sont ressorties comme étant les plus satisfaisantes. Lorsque le critère « innocuité pour l'environnement » a été privilégié c'est la combinaison des deux produits de lutte biologique associés au piégeage de masse qui est ressortie comme la meilleure. La méthode « Attract-and-Kill » bien que n'étant pas encore (totalement) opérationnelle sur le terrain est ressortie de cette analyse comme étant potentiellement très intéressante ; des essais sur le terrain avec pour perspective une demande d'autorisation de mise sur le marché sont à envisager.

En conclusion, l'Anses considère donc, pour la zone « méditerranéenne », que l'alternative se présente de la manière suivante : i) stabiliser si possible la population de CRP en sachant que le coût sera élevé, et chercher à limiter son aire d'extension géographique ou ii) envisager de limiter la protection à certains palmiers notamment pour leur importance patrimoniale et de proposer des espèces végétales de remplacement pour les zones non protégées.

Dr Roger Genet

MOTS-CLÉS

Charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus*, bio-agresseur, palmier, *Phoenix canariensis*, stratégies de lutte, méthode de lutte chimique, méthode de lutte non chimique, lutte biologique

Red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*, bioagressor, palm tree, *Phoenix canariensis*, control strategies, chemical control method, non chemical control method, biological control

Saisine relative aux stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier

Saisine « n° 2017-SA-0137 »

RAPPORT d'expertise collective

« Comité d'experts spécialisé Risques biologiques pour la santé des végétaux »

« Groupe de travail Charançon rouge du palmier 2 »

Octobre 2018

Mots clés

Charançon rouge du palmier, *Rhynchophorus ferrugineus*, bio-agresseur, palmier, *Phoenix canariensis*, stratégies de lutte, méthode de lutte chimique, méthode de lutte non chimique, lutte biologique

Red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*, bioagressor, palm tree, *Phoenix canariensis*, control strategies, chemical control method, non chemical control method, biological control

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GROUPE DE TRAVAIL

Président

M. Frédéric SUFFERT – Epidémiologiste – Inra

Membres

M. Abraham ESCOBAR-GUTIERREZ – Modélisation – Inra

Mme Laurence OLLIVIER – Entomologiste – Cirad

M. Didier ROCHAT – Entomologiste – Inra

.....

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- CES Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux (du 01/01/2015 au 31/08/2018)

Président

M. Pierre SILVIE – Chargé de recherche, IRD mis à disposition du CIRAD, CIRAD-PERSYST
UPR 115 AÍDA (Agroécologie et Intensification Durable des cultures Annuelles)

M. Philippe REIGNAULT – Professeur des Universités, Université du Littoral Côte d'Opale, Unité de Chimie Environnementale et Interactions sur le Vivant (démissionnaire fin mai 2018)

Membres

Mme Marie-Hélène BALESSENT – Directrice de recherche, INRA de Versailles-Grignon, UR BIOlogie et GEstion des Risques en agriculture

M. Philippe CASTAGNONE – Directeur de recherche, INRA PACA, Institut Sophia Agrobiotech

M. Bruno CHAUVEL – Directeur de recherche, INRA de Dijon, UMR Agroécologie

M. Nicolas DESNEUX – Directeur de recherche, INRA PACA, Institut Sophia Agrobiotech

Mme Marie-Laure DESPREZ-LOUSTAU – Directrice de recherche, INRA de Bordeaux, UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

M. Abraham ESCOBAR-GUTIERREZ – Directeur de recherche, INRA de Lusignan, UR Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères

M. Laurent GENTZBITTEL – Professeur des Universités, Institut National Polytechnique de Toulouse, Laboratoire Écologie Fonctionnelle et Environnement

M. Hervé JACTEL – Directeur de recherche, INRA de Bordeaux, UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

M. Thomas LE BOURGEOIS – Directeur de recherche, CIRAD, UMR botAnique et bioInforMatique de l'Architecture des Plantes

M. Xavier NESME – Ingénieur de recherche, INRA, Centre Auvergne-Rhône Alpes, UMR Écologie microbienne

M. Stéphan STEYER – Attaché scientifique, Centre wallon de Recherches Agronomiques, Département Sciences du Vivant, Responsable Virologie Végétale

M. Frédéric SUFFERT – Ingénieur de recherche, INRA de Versailles-Grignon, UR BIOlogie et GEstion des Risques en agriculture

Mme Valérie VERDIER – Directrice de recherche, IRD, UMR Résistance des Plantes aux Bioagresseurs (démissionnaire depuis octobre 2017)

M. Éric VERDIN – Ingénieur de recherche, INRA, Centre PACA Avignon, Unité de pathologie végétale

M. François VERHEGGEN – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Entomologie fonctionnelle et évolutive

M. Thierry WETZEL – Directeur du laboratoire de Virologie Végétale, DLR RHEINPFALZ

■ CES Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux (depuis le 01/09/2018)

Président

M. Thomas LE BOURGEOIS – Directeur de recherche, CIRAD, UMR botAnique et bioInforMatique de l'Architecture des Plantes

Membres

Mme Marie-Hélène BALESSENT – Directrice de recherche, INRA de Versailles-Grignon, UR BIOlogie et GEstion des Risques en agriculture

Mme Françoise BINET – Directrice de recherche, CNRS, UMR ECOBIO Rennes

M. Antonio BIONDI – Enseignant-Chercheur, Université de Catagne, Département Agriculture, Alimentation et Environnement, Italie

M. Philippe CASTAGNONE – Directeur de recherche, INRA PACA, Institut Sophia Agrobiotech

M. Christophe CLEMENT – Professeur des Universités, Université de Reims Champagne Ardenne, Unité RIBP Résistance induite et Bioprotection des Plantes

Mme Péninna DEBERDT – Chercheur, CIRAD, UPR HORTSYS

M. Nicolas DESNEUX – Directeur de recherche, INRA PACA, Institut Sophia Agrobiotech

Mme Marie-Laure DESPREZ-LOUSTAU – Directrice de recherche, INRA de Bordeaux, UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

M. Abraham ESCOBAR-GUTIERREZ – Directeur de recherche, INRA de Lusignan, UR Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères

M. Laurent GENTZBITTEL – Professeur des Universités, Institut National Polytechnique de Toulouse, Laboratoire d'Écologie Fonctionnelle et Environnement

M. Hervé JACTEL – Directeur de recherche, INRA de Bordeaux, UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

M. David MAKOWSKI – Directeur de recherche, INRA AgroParisTech Paris-Saclay, UMR d'Agronomie

M. Arnaud MONTY – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech, Department BIOSE, Biodiversity and Landscape Unit

Mme Maria NAVAJAS – Directrice de recherche, INRA Montpellier, UMR CBGP Centre de biologie pour la gestion des populations

M. Xavier NESME – Ingénieur de recherche, INRA, Centre Auvergne-Rhône Alpes, UMR Écologie microbienne

M. Stéphan STEYER – Attaché scientifique, Centre wallon de Recherches Agronomiques, Département Sciences du Vivant, Responsable Virologie Végétale

M. Éric VERDIN – Ingénieur de recherche, INRA, Centre PACA Avignon, Unité de pathologie végétale

M. François VERHEGGEN – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Entomologie fonctionnelle et évolutive

M. Thierry WETZEL – Directeur de recherche, DLR RHEINPFALZ

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

M. Charles MANCEAU – Coordinateur scientifique – Anses

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles et abréviations	9
Liste des tableaux	9
Liste des figures	9
1 Objet et modalités de réalisation de l'expertise	11
1.1 Contexte	11
1.2 Objet de la saisine	11
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre (Anses, CES, GT, rapporteur(s)) et organisation	11
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts	12
2 Contexte	13
2.1 Gestion intégrée d'un bio-agresseur classé « danger sanitaire de première catégorie »	13
2.2 Scénarios : résultats atteignables en fonction du contexte et des moyens mis en œuvre	13
2.3 Analyse de situations réelles	15
2.3.1. Stratégie appliquée aux îles Canaries : éradication du CRP (scénario 1 ; typologie FAO) ; (Martín et al., 2013 ; Fajardo et al., 2017)	15
2.3.2. Stratégies appliquées en Israël : maîtrise du CRP en vergers de dattiers jusqu'en 2009 (typologie FAO : scénarios 1-2) mais échec en 2018 à contenir les foyers urbains découverts la même année (typologie FAO : scénarios 2-3) ; (Soroker et al., 2005, 2013, 2018 ; Suma et al., 2017)	17
2.3.3. Analyse de la situation en France	20
3 Analyse des méthodes de lutte	28
3.1 Critères d'évaluation	28
3.2 Caractérisations des méthodes de lutte : description et évaluation	29
3.2.1. Gestion mécanique des palmiers infestés	29
3.2.2. Méthodes de lutte chimique et biologique	31
3.2.2.1. Méthodes actuellement autorisées contre le CRP en France	31
3.2.2.2. Méthodes de lutte chimique	32
3.2.2.3. Méthodes de lutte biologique	34
3.3 Analyse comparative multicritère des performances des méthodes de lutte contre le charançon rouge du palmier	55
4 Identification et analyse des stratégies de lutte pertinentes contre le CRP	61
4.1 Conception des stratégies	61
4.1.1. Principaux types de stratégies	61
4.1.2. Méthodes de lutte constituant les stratégies	62

4.2 Analyse comparative multicritère des performances des stratégies, de lutte contre le charançon rouge du palmier, identifiées	64
4.2.1. Comparaison des six stratégies de type D appliquées à un lot de 1000 palmiers choisis pour leur intérêt patrimonial	64
4.2.2. Comparaison des six stratégies de type C appliquées à 40% des palmiers infestés (curatif) et 10% des palmiers sains (préventif).....	67
5 Conclusions du groupe de travail	68
6 Bibliographie.....	73
6.1 Publications	73
6.2 Normes	80
ANNEXES	81
Annexe 1 : Lettre de saisine	82
Annexe 2 : Suivi des actualisations du rapport	84
Notes	85

Sigles et abréviations

CES : Comité d'experts spécialisé

CIHEAM : Centre des hautes études agronomiques méditerranéennes

CRP : charançon rouge du palmier

FAO : Food and Agriculture Organisation

FREDON : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

GT : groupe de travail

Liste des tableaux

Tableau 1 : Paramètres d'infestations par le CRP aux îles Canaries (d'après Fajardo 2017). _____	17
Tableau 2 : Densité de pièges à phéromone déployés pour surveiller et éliminer en masse le CRP en Israël de 1999 à 2012. _____	18
Tableau 3 : Notes et valeurs associées à chaque critère pour chaque méthode de lutte contre le CRP. ____	55
Tableau 4 : Principaux types de stratégies. _____	61
Tableau 5 : Description des 24 stratégies évaluées et estimation de leur coût total annuel (exemple du territoire de la CAVEM). _____	63

Liste des figures

Figure 1 : Scénarios d'évolution de l'infestation par le CRP dans le temps en fonction des moyens disponibles (lignes pleines) et nécessaires (lignes pointillées) pour contenir le ravageur. _____	14
Figure 2 : Evolution du nombre de communes françaises déclarées contaminées par le CRP entre 2006 et 2017. Chaque point rouge représente une commune contaminée. Pour chaque foyer d'infestation primaire, l'année de première détection (palmier infesté ou piège positif) est indiquée en rouge. La zone 1 est constituée des six départements du littoral méditerranéen (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard, Bouches du Rhône, Var et Alpes-Maritimes) et de la Corse. La zone 2 est constituée du reste de la France métropolitaine. _____	20
Figure 3 : Carte de l'évolution des communes contaminées en PACA de 2006 à 2015 (FREDON, 2016). _	22
Figure 4 : Evolution du nombre de palmiers contaminés dans la région PACA entre 2006 et 2017 (DRAAF PACA, 2018). _____	22
Figure 5 : Carte des communes contaminées en PACA au 1 ^{er} janvier 2018 et de la zone tampon (telle que définie à l'arrêté du 21/07/2010 consolidé, à savoir un disque de 10 km de diamètre autour des foyers ; toute commune incluant une fraction de zone tampon est colorisée intégralement ; DRAAF PACA, 2018). _____	23

- Figure 6 : Evolution du nombre de palmiers contaminés dans la région Occitanie entre 2010 et 2015 (DRAAF LR-MP, 2015; FREDON, 2016). _____ 24
- Figure 7 : Carte des communes contaminées en région Occitanie au 1^{er} novembre 2017 et de la zone tampon (DRAAF Occitanie, 2017). _____ 24
- Figure 8 : Evolution du nombre de communes déclarées infestées en Corse entre 2006 et 2012 (Roberti *et al.*, 2013). _____ 25
- Figure 9 : Carte de l'évolution des communes contaminées en Corse de 2006 à 2015 (FREDON, 2016). _ 26
- Figure 10 : Efficacité des souches des souches a) 203 et b) 111 de *Beauveria bassiana* contre le CRP (source GLEN BIOTECH ; (démontage = abattage ; source ARYSTA LIFE SCIENCE NPP / TECHNIPALM, <http://www.technipalm.com/maladies-du-palmier/charancon-rouge-du-palmier/traitement-bio>) _____ 35
- Figure 11 : Exemples de conditions d'utilisation des produits à base de *Steinernema carpocapsae* pour lutter contre le CRP (https://www.koppert.fr/fileadmin/Koppert/PDF/FR/Plaquette_Palmanem.pdf; https://fr.jardins-animes.com/nematode-contre-charancon-rouge-palmier-nemapalmier-p-1142.html#detail_produit). _____ 40
- Figure 12 : Tableau présentant les fonctions de préférence, les paramètres statistiques et la matrice des valeurs (notes ou valeurs réelles) associées à chaque méthode de lutte pour chaque critère pour l'étude comparative des méthodes de lutte avec PROMETHEE. _____ 56
- Figure 13 : Analyse visuelle GAIIA de l'analyse multicritère des méthodes de lutte. _____ 57
- Figure 14 : Classement des méthodes de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif égal est attribué à chaque critère (cartouche du bas). _____ 58
- Figure 15 : Classement des méthodes de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif est distribué de façon différentes entre les critères (20% pour les critères « magnitude de l'efficacité », « rémanence de l'efficacité », « opérationnalité » et « praticité », contre 4% aux critères d'impact « innocuité », « durabilité de l'efficacité » et « coût » ; cartouche du bas). _____ 59
- Figure 16 : Classement des méthodes de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif est distribué de façon différente entre les critères (20% aux critères d'impact collatéral « innocuité », contre 6% pour les autres critères « magnitude de l'efficacité », « rémanence de l'efficacité », « durabilité » « opérationnalité », « praticité » et « coût » ; cartouche du bas). _____ 60
- Figure 17 : Tableau présentant les fonctions de préférence, les paramètres statistiques et la matrice des valeurs (notes ou valeurs réelles) associées aux stratégies de lutte de type D pour chaque critère pour l'étude comparative avec PROMETHEE. _____ 64
- Figure 18 : Analyse visuelle GAIIA de l'analyse multicritère des stratégies de lutte de type D. _____ 65
- Figure 19 : Classement des stratégies de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif égal est attribué à chaque critère (cartouche du bas). _____ 66
- Figure 20 : Classement des stratégies de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif est distribué de façon différentes entre les critères (50% pour le critère « coût » contre 6% aux autres ; cartouche du bas). _____ 66
- Figure 21 : Classement des stratégies de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif est distribué de façon différentes entre les critères (50% pour le critère « innocuité pour l'environnement » contre 6% aux autres ; cartouche du bas). __ 67

1 Objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

La communauté scientifique internationale (source : publication FAO d'avril 2017) s'accorde sur l'importance de la combinaison des mesures de lutte en fonction des niveaux d'infestation par le charançon rouge du palmier. Plusieurs mesures de lutte sont disponibles ou envisageables : assainissement mécanique, application d'insecticides à titre préventif ou curatif, piégeage de masse et biocontrôle (lutte biologique *sensu stricto*). Il est à noter que plusieurs expérimentations sur le biocontrôle sont en cours.

1.2 Objet de la saisine

Dans la perspective d'améliorer les stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier, il est demandé : i) d'identifier les stratégies de lutte (en tant que combinaison de différentes méthodes de lutte) les plus pertinentes en fonction du niveau d'infestation et de l'objectif poursuivi (éradication/stabilisation de la population), ii) de proposer également des scénarios incluant les méthodes en cours de développement, des scénarios mobilisant uniquement des méthodes non chimiques ou de biocontrôle, et iii) de veiller d'une manière générale à identifier le cadre réglementaire dans lequel peuvent s'inscrire chacun d'entre eux.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre (Anses, CES, GT, rapporteur(s)) et organisation

L'Anses a confié au groupe de travail « Charançon rouge du palmier 2 », rattaché au comité d'experts spécialisé « Risques biologiques pour la santé des végétaux » l'instruction de cette saisine.

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES « Risques biologiques pour la santé des végétaux » (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques). Les travaux ont été présentés au CES pour discussion, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques, le 23/01/2018, le 20/03/2018, le 15/05/2018, le 04/07/2018 et le 19/09/2018.

Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'agence (www.anses.fr).

2 Contexte

2.1 Gestion intégrée d'un bio-agresseur classé « danger sanitaire de première catégorie »

La gestion efficace d'un bio-agresseur des plantes cultivées ou ornementales passe par la mise en œuvre coordonnée d'un programme de gestion intégrée, par essence multi-composantes (OILB/STROP 2004 ; Lucas 2007 ; J.O.U.E., 2009). Dans le cas d'une espèce classée « danger sanitaire de première catégorie », un tel programme s'accompagne de mesures spécifiques obligatoires visant à éradiquer le bio-agresseur et/ou à limiter drastiquement sa propagation. Les composantes majeures d'un programme d'éradication sont : la prophylaxie, le contrôle des mouvements de végétaux hôtes (quarantaine *sensu stricto*), la surveillance du territoire, la détection du bio-agresseur et le suivi de sa dispersion, la lutte directe contre le bio-agresseur et la destruction du matériel végétal contaminé (Myers *et al.*, 1998). Les experts de la FAO et du CIHEAM soulignent dans leur rapport final de la conférence de Rome 2017 dédiée au Charançon Rouge du Palmier (CRP) que « seule une mise en œuvre combinée et coordonnée de tous les moyens et techniques disponibles pour gérer le CRP peut être efficace et, dans certain cas (*Cf. infra*), permettre son éradication » (FAO-CIHEAM, 2017). En d'autres termes, optimiser une composante de la gestion (par exemple la lutte) sans s'assurer de la mise en œuvre optimale des autres (par exemple la quarantaine et l'élimination du matériel végétal contaminé et toujours infectieux), est à terme voué à l'échec. Ce point, extrêmement important, est un préambule à toute réflexion et analyse des moyens à mettre en œuvre pour lutter contre le CRP.

2.2 Scénarios : résultats atteignables en fonction du contexte et des moyens mis en œuvre

Sous l'hypothèse que l'ensemble des méthodes de gestion du CRP existantes sont mises en œuvre de façon optimale indépendamment des moyens (financiers et humains) disponibles, les experts de la FAO indiquent que « les besoins en matière de lutte contre l'organisme nuisible sont directement corrélés à l'évolution des populations du CRP (Fig 1). » Ce constat les conduit à envisager trois scénarios face à la multiplication du CRP :

- 1 - « Les moyens sont supérieurs aux besoins (Fig 1 ; lignes bleues). Il s'agit du scénario gagnant : les populations de CRP régressent irréversiblement et rapidement. »
- 2 - « Les moyens demeurent plus au moins égaux aux besoins (Fig. 1 ; lignes vertes). Les populations de CRP restent stables. » « On peut considérer que le CRP est sous contrôle mais, chaque année un certain pourcentage de palmiers est perdu. »
- 3 - « Les moyens sont inférieurs aux besoins (Fig. 1 ; lignes rouges). Il s'agit du scénario perdant. Les populations de CRP croissent à un rythme exponentiel. Les moyens à mettre en œuvre pour lutter contre l'organisme nuisible croissent aussi à un rythme exponentiel et l'écart, entre les besoins et les moyens disponibles, se creuse inexorablement. C'est une course inutile et perdue d'avance. »

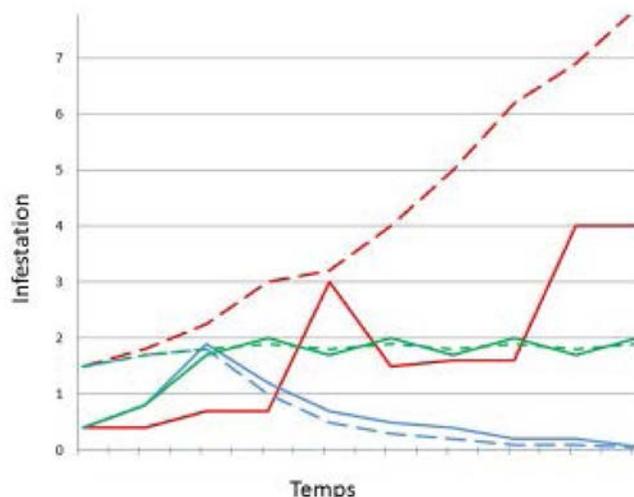


Figure 1 : Scénarios d'évolution de l'infestation par le CRP dans le temps en fonction des moyens disponibles (lignes pleines) et nécessaires (lignes pointillées) pour contenir le ravageur. (Source : FAO - CIHEAM, 2017. Scénario 1 (bleu), scénario 2 (vert) et scénario 3 (rouge))

Les membres du GT agrément à cette analyse pragmatique, certes schématique mais totalement juste. Considérer ces trois scénarios, au regard de la situation qui prévaut en France 10 ans après la détection des premiers palmiers infestés, est un préalable indispensable à toute réflexion visant à améliorer telle ou telle composante d'une stratégie de gestion du CRP. **En l'absence de panacée technique, l'évaluation objective des diverses situations locales et des moyens disponibles est un préalable indispensable à tout investissement intellectuel, technique et financier pour définir des objectifs réalistes, c'est-à-dire qui puissent effectivement être atteints.** En effet, rien ne serait pire, pour le gestionnaire comme pour le contribuable, que la mise en œuvre d'une action coûteuse et vouée à l'échec parce que sous-dimensionnée dans l'espace et dans le temps au regard du niveau d'infestation.

Les membres du GT reprennent à leur compte une autre assertion des experts internationaux de la FAO : « **La stratégie, si elle est étayée par des ressources suffisantes et est associée à une planification systématique, une bonne coordination et la participation de toutes les parties prenantes, peut conduire à l'éradication du CRP comme on l'a constaté dans les îles Canaries (Espagne), où il est éradiqué depuis 2013 et où le dernier foyer a été déclaré exempt en mai 2016.** »

Ces points ayant été soulignés et devant être gardés à l'esprit dans l'analyse qui suit, les membres du GT ont choisi de présenter et commenter, à titre d'illustration, la situation qui prévaut dans trois régions confrontées au CRP depuis plus d'une décennie : les îles Canaries, Israël et la France. L'analyse d'autres cas (Espagne continentale, Italie, Tunisie, etc.) apparaît assez redondante et n'apporte guère d'informations supplémentaires pour appréhender la problématique.

2.3 Analyse de situations réelles

2.3.1. Stratégie appliquée aux îles Canaries : éradication du CRP (scénario 1 ; typologie FAO) ; (Martín *et al.*, 2013 ; Fajardo *et al.*, 2017)

Le palmier des Canaries (*Phoenix canariensis*) est endémique et emblématique des îles Canaries. Ses populations naturelles constituent un élément majeur de la biodiversité et du paysage local. Cette plante ornementale est abondante en zone urbanisée et fait l'objet d'une production car elle constitue une ressource économique notable. Dans les années 2000 la forte urbanisation touristique a entraîné l'importation accrue de grands palmiers (essentiellement des dattiers), ce qui a favorisé la dissémination du CRP après sa détection en septembre 2005 (sur la Grande Canarie, puis sur Fuerteventura et Tenerife). Le CRP a dès lors été une menace pour les palmeraies naturelles, dont la protection a été l'objectif premier du gouvernement, davantage que la préservation du paysage balnéaire des zones touristiques malgré leur poids économique.

Dès la fin de 2005 une stratégie d'éradication a été mise en œuvre, incluant toutes les composantes connues : évaluation des risques, information et sensibilisation, planification d'urgence, contrôle des mouvements de palmiers, formation, lutte intégrée contre le CRP, définition d'une réglementation contraignante et d'outils d'actions.

A la détection du CRP en Espagne péninsulaire en 1995 et sans attendre l'établissement d'une réglementation européenne, le ministère de l'Agriculture espagnol a appliqué une réglementation nationale pour prévenir de nouvelles introductions de palmiers contaminés dans le pays. Les îles Canaries ont complété cette réglementation dès janvier 2006 pour définir les moyens et les procédures à appliquer par l'ensemble des acteurs (public, privé, particuliers, professionnels). **En l'espace de seulement deux ans, tout ce qui semble nécessaire à la gestion du ravageur a ainsi pu être codifié et appliqué.**

Plusieurs campagnes d'information et de sensibilisation multi-cibles (tous média et tous publics) ont été menées afin de former et d'informer l'ensemble des acteurs concernés par la gestion des espaces verts et la protection des plantes, en essayant de sensibiliser le plus grand nombre possible de participants au plan d'éradication. L'objectif était d'obtenir le maximum de signalements de palmiers douteux auprès de responsables locaux ayant une capacité de réaction rapide.

Le programme d'éradication s'est appuyé sur une évaluation fine du risque dans toutes les îles de l'archipel des Canaries en ciblant les zones naturelles à protéger et en définissant les voies d'introduction et de circulation les plus probables du CRP. Les zones de plantation récente de palmiers, les pépinières, les décharges publiques recevant des déchets, etc. ont ainsi été prospectées en priorité. L'état des palmiers présents du genre *Phoenix* via une recherche de symptôme a également été évalué et une cartographie minutieuse avec géo-référencement réalisée pour l'ensemble de l'archipel.

Un plan d'urgence, mis en place et déclenché à chaque nouvelle détection de CRP, a permis de déterminer les actions à engager par chacune des administrations publiques et par les propriétaires privés de palmiers. Fondamentalement, le plan indique comment définir la zone délimitée et la gérer : action sur les palmiers symptomatiques et asymptomatiques. Priorité a été donnée à la détection de l'origine du CRP et à la mise en œuvre de campagnes d'information et de sensibilisation spécifiques ciblant les différents acteurs de la zone.

Le gouvernement des Canaries a développé très rapidement un Système d'Information Géographique (SIG) pour planifier et coordonner efficacement toutes les actions (inspection, traitement, piégeage, abattage des palmiers) sur la base d'une description très précise de la réalité de terrain. Le SIG a été couplé à une application mobile permettant de recueillir des données en temps réel sur le terrain.

Tous les palmiers du genre *Phoenix* présents dans les zones de surveillance définies a priori (foyers et zones de protection prioritaire) ont été géo-référencés au fur et à mesure des inspections. Les inspections régulières de ces palmiers ont permis la détection précoce et exhaustive du CRP, étape qui constitue un préalable à toutes les autres actions.

Les palmiers ont été surveillés visuellement par un personnel formé pour détecter les symptômes, les plus ténus nécessitant une inspection approfondie. Une fois le personnel formé, les différentes opérations ont été réalisées rapidement, sauf pour les palmiers de grande taille qui ont nécessité des moyens spécifiques pour accéder à la couronne. Il ressort de cette expérience **qu'une bonne connaissance des symptômes est primordiale et constitue un gage d'efficacité.**

A chaque fois qu'un foyer d'infestation (i.e. un palmier infesté par le CRP) a été détecté, il a été **immédiatement (moins de 24 heures)** procédé à son abattage et sa destruction contrôlée, dès lors que l'assainissement n'était pas possible. Lorsque l'attaque s'est avérée moins sévère, l'assainissement complet du palmier par curetage a été réalisé, également dans les 24 heures suivant la détection, couplé à une augmentation de la cadence des traitements phytosanitaires et un renforcement des inspections. Dans les deux cas, un protocole rigoureux a été appliqué pour détruire et évacuer les déchets, de sorte qu'ils ne puissent pas contribuer à la propagation du CRP.

Des traitements insecticides ont été massivement appliqués dans les zones réputées infestées afin de réduire la pression du CRP, d'éliminer les éventuels foyers constitués de palmiers asymptomatiques et ainsi de réduire significativement le risque d'infestation des palmiers sains.

Des pièges à phéromone ont été déployés à forte densité à proximité des foyers pour éviter leur extension, créant ainsi des pôles d'attraction spécifiques. Ils ont été utilisés à la fois comme moyen de lutte contre ces ravageurs et comme outil de surveillance des populations pour déterminer la période optimale d'application des insecticides. La surveillance a été étendue à toutes les zones critiques y compris celle où le CRP n'a pas été détecté.

La délimitation de la zone de piégeage a permis d'obtenir des informations sur l'activité du CRP quasiment en temps réel. Un piège avec captures a en effet pu signifier la présence à proximité d'un ou plusieurs palmiers infestés, qui ont dû être identifiés immédiatement pour traitement. En revanche, l'absence de capture a entraîné le retrait des pièges permettant ainsi de redéfinir la zone de piégeage. L'installation des pièges et le traitement des palmiers ont ainsi pu être réalisés en tenant compte de la distribution des palmiers abattus et assainis. Un tel micro-réseau de piégeage dynamique a permis de prioriser les zones à traiter, c'est-à-dire celles où le CRP était susceptible de s'établir dans un futur proche.

La stratégie d'éradication du CRP au Canaries s'est appuyée sur une formation pratique approfondie de tous les acteurs impliqués dans les actions de prévention, détection, traitement, élagage, curetage, abattage, etc. dont la mise en œuvre a été soumise à accréditation.

Le transport de palmiers infestés étant reconnu dès l'origine comme la cause de la dissémination à grande distance, les mouvements de palmiers ont été strictement contrôlés à l'entrée dans les îles,

tant pour l'import que pour la circulation à l'intérieur de l'archipel. Les points clés définis sont à la base de la décision européenne 2007/365/CE.

Bilan

Un maximum de 294 CRP ont été pris dans l'ensemble des pièges déployés en un an et 328 palmiers ont été abattus (Tableau 1).

Tableau 1 : Paramètres d'infestations par le CRP aux îles Canaries (d'après Fajardo 2017).

Année	CRP piégés	Palmiers abattus
2006	294	266
2007	242	328
2008	87	47
2009	31	28
2010	4	1
2011	1	1
2012	0	4
2013	1	3
Total	660	678

En huit ans l'éradication du CRP a été réussie sur les trois îles touchées et aucune autre n'a été contaminée. **Ce résultat exceptionnel est le fruit d'une réaction très rapide : cartographie complète et traitement systématique (abattage, traitement insecticide, piégeage massif) de tous les foyers et des zones de protection prioritaire en deux ans sous une supervision centralisée avec des moyens lourds (soutien financier du gouvernement canarien et espagnol).** Cet effort massif s'est traduit dès la troisième année par une chute très importante des captures de CRP dans les pièges et du nombre de palmiers abattus. Après 2014 aucune capture ni aucun nouveau palmier contaminé n'a été recensé. L'exemple des îles Canaries demeure à ce jour le seul cas d'éradication du CRP réussie, avec un recul suffisant laissant penser qu'elle est acquise. Il semblerait que la crise financière de 2008, qui a porté un coup d'arrêt à l'urbanisation balnéaire, a contribué au succès de l'embargo strict de l'entrée de nouveaux palmiers infestés dans l'archipel.

2.3.2. Stratégies appliquées en Israël : maîtrise du CRP en vergers de dattiers jusqu'en 2009 (typologie FAO : scénarios 1-2) mais échec en 2018 à contenir les foyers urbains découverts la même année (typologie FAO : scénarios 2-3) ; (Soroker *et al.*, 2005, 2013, 2018 ; Suma *et al.*, 2017)

En Israël la production de dattes et de palmiers d'ornement, principalement à destination du marché de l'UE, sont des secteurs importants de l'économie et de l'agriculture. L'infestation par le CRP peut être caractérisée par deux phases, de 1999 à 2009 et de 2009 à nos jours.

La première phase, pendant laquelle la gestion du CRP a été une réussite, a concerné essentiellement des zones agricoles (vergers de dattiers). La seconde phase, touchant essentiellement des palmiers ornementaux situés loin des régions de culture, s'est en revanche caractérisée par un accroissement des populations de CRP qui s'avère désormais incontrôlé.

Phase 1

Le CRP a initialement été détecté dans des vergers modernes de production dattière de la vallée du Jourdain, à la frontière avec la Jordanie et les Territoires Palestiniens où il avait été détecté un peu auparavant. La détection a été réalisée au moyen de pièges de surveillance appâtés avec de la phéromone d'agrégation et une odeur végétale. Ce réseau installé dès la notification du CRP au voisinage d'Israël est toujours en place. Il a compté jusqu'à 5.000 pièges suivis de façon coordonnée (1999-2001) et centralisée (Tableau 2). Durant la première phase, il a aussi servi d'outil de lutte (piégeage de masse) par une gestion dynamique de la densité des pièges, accrue ou diminuée en fonction de l'évolution locale des captures.

Tableau 2 : Densité de pièges à phéromone déployés pour surveiller et éliminer en masse le CRP en Israël de 1999 à 2012.

Années	Nombres de pièges	Densités (pièges/ha)	Zone couverte (ha)
1999-2001	5.000	1 - 10	1.800
2001-2008	1.250	0,33 - 7	4.100
2009-2012	1.250-2.500	0,02 – 1	> 8.000

Rapidement après les premières captures, un programme intensif de lutte intégrée associé à une restriction des mouvements de palmiers a été mis en place. Trois agences publiques ont été chargées de coordonner les actions et de soutenir le secteur privé, tandis qu'une ONG a facilité la collaboration avec les services de protection des plantes des pays voisins. L'aire touchée en 1999 (1.130 ha) a été placée sous quarantaine avec une restriction d'export stricte. Une politique de gestion classique a été mise en place, basée sur une surveillance adaptée et un piégeage de masse à l'aide de pièges à phéromone géo-référencés, relevés et entretenus tous les 15 jours. Les vergers de dattiers ont été examinés très minutieusement et systématiquement pour détecter d'éventuels signes précurseurs d'infestation.

Environ 35 palmiers dattiers infestés ont été détectés en 1999. Une campagne massive de traitement par insecticides a été mise en œuvre. 25 des palmiers touchés ont survécu ; les autres (sévèrement infestés) ont été arrachés et brûlés. Par mesure de précaution le sol de la zone touchée a été traité trois fois avec un insecticide à base d'imidaclopride et mensuellement avec des organophosphorés à large spectre (azinphos-methyl, diazinon, chlorpyrifos) au niveau des rejets, stipes et tissus mis à nus après prélèvement de rejets (Soroker *et al.*, 2005).

Après cette action choc, 60 autres palmiers modérément infestés ont été découverts entre 1999 et 2001 et traités comme précédemment. Après traitement, les stipes ont été enveloppés de bâches plastiques pour éviter tout éventuel échappement de CRP adultes. La zone a été mise en quarantaine, excluant ainsi tout export de rejets. Cette stratégie très intensive (surveillance, traitements chimiques et quarantaine) s'est avérée une réussite puisqu'aucun palmier infesté n'a été découvert jusqu'en 2009. Dans les pièges de surveillance les captures ont diminué régulièrement pour devenir très faible après 2002, à l'exception d'un pic constaté en 2004 dans une zone résidentielle du sud du pays, qui est venu confirmer que la menace existait toujours. Un traitement systématique et immédiat des palmiers a alors été réalisé sur une vaste zone (700 ha). Aucun palmier symptomatique n'a ensuite été découvert.

Phase 2

En 2009, le statut provisoirement indemne d'Israël résultant du succès de la phase 1 a brusquement changé avec la découverte d'un palmier des Canaries mort chez un particulier à Nahariya au nord-ouest du pays. L'examen du voisinage a révélé la présence de plusieurs palmiers infestés à divers degrés par le CRP. Des pièges de surveillance ont alors été déployés dans cette zone pour déterminer le centre du foyer. Les résultats, corroborés par les inspections visuelles, ont mis en évidence un foyer étendu suggérant un établissement déjà assez ancien. L'origine de ce foyer demeure, à ce jour, indéterminée. L'analyse génétique de la population de CRP issus de ce foyer et du foyer originel ne soutient pas l'hypothèse d'une origine distincte pour les deux phases (El-Mergawy *et al.*, 2011). Le même type d'actions n'a pas permis de contenir les infestations par le CRP en milieu urbain comme cela avait été le cas en milieu agricole. L'essentiel des nouvelles infestations a été constaté sur palmier des Canaries (*Phoenix canariensis*) et plusieurs espèces de palmiers connus pour être attaqués par le CRP (*Phoenix dactylifera*, *Syagrus romanzoffiana*, *Butia* sp., *Washingtonia filifera*, etc. ; RoCHAT *et al.*, 2017) situés dans des parcs publics et des jardins privés mais aussi, à nouveau, dans des vergers de dattiers. Entre 2009 et 2018, en dépit des efforts déployés, l'infestation n'a cessé de progresser et concerne aujourd'hui tout le pays à l'exception de la région Sud d'Arava dans le Rift (mer Morte-Mer Rouge). En l'absence de rapport officiel, on estime que les pertes dans les zones non agricoles sont de l'ordre d'un millier de palmiers (Soroker, comm. pers. 2018).

Bilan

La principale différence entre les deux phases, et qui a donc déterminé le succès de l'une et l'échec de l'autre, est : (i) le moment d'intervention par rapport à l'arrivée du CRP, (ii) la superficie de la zone infestée au moment de la découverte, et (iii) le mode de gestion. En 1999 et 2004, les infestations ont été découvertes très tôt, à l'inverse de 2009 (scénario 3 de la FAO). Entre 1999 et 2002, l'éradication a été conduite sur une vaste superficie, composée presque exclusivement de grands vergers gérés par un petit nombre de coopératives, avec un équipement garantissant l'efficacité des traitements. Il en a été de même en 2004, avec une collaboration exemplaire entre la municipalité et les parcs hôteliers abritant plusieurs milliers de palmiers (la presque totalité), lesquels ont été traités rapidement. En 2009 le CRP a été détecté dans de nombreux sites privés, essentiellement sur des palmiers des Canaries, très sensibles, ce qui a entraîné une multiplication importante et rapide du CRP, dont les populations ont atteint un niveau extrêmement préoccupant. Beaucoup des palmiers infestés étaient très grands et inaccessibles à l'inspection et aux traitements par les moyens alors disponibles.

Les municipalités concernées n'ont en général pas pris la responsabilité de traiter et d'éliminer les palmiers infestés, ce qui a entraîné la prolifération du CRP. Les traitements massifs à l'imidaclopride appliqués au niveau du sol via l'irrigation des palmiers, qui avaient été très efficaces pour contenir le CRP en vergers de dattiers, ne l'ont pas été pour les palmiers des Canaries. Un défaut de migration de l'insecticide jusqu'à la couronne, en particulier en l'absence d'irrigation, peut être invoqué. Mais c'est surtout l'application externe d'insecticide dans la couronne (douche) qui a été insuffisante faute d'équipements dédiés et en raison de son coût. **Eu égard à la présence de dizaines de milliers de palmiers dans la zone infestée, un traitement rapide et efficace des palmiers suspects s'est avéré quasi-impossible pour trois raisons : (i) un défaut de réglementation contraignante, (ii) un défaut de coordination des autorités locales**

compétentes, et (iii) le coût global des opérations compte tenu de la surface concernée et du nombre de palmiers concernés.

2.3.3. Analyse de la situation en France

Depuis la détection des premiers foyers dans les régions Provence Alpes Côte-d'Azur (PACA) et Corse en 2006, puis Languedoc-Roussillon (nouvellement Occitanie) en 2007, le CRP s'est largement répandu sur le littoral méditerranéen, principalement (95%) sur palmier des Canaries (*P. canariensis*), mais aussi sur d'autres espèces de palmiers connues pour leur sensibilité au CRP (*Butia capitata*, *Syagrus romanzoffiana*, *P. dactylifera*, *Washingtonia filifera*, etc. ; Rochat et al., 2017). Les suivis réalisés et publiés depuis 10 ans par les FREDON ont permis au GT de reconstituer l'évolution de la contamination à l'échelle régionale à partir des foyers initiaux (Figure 2).

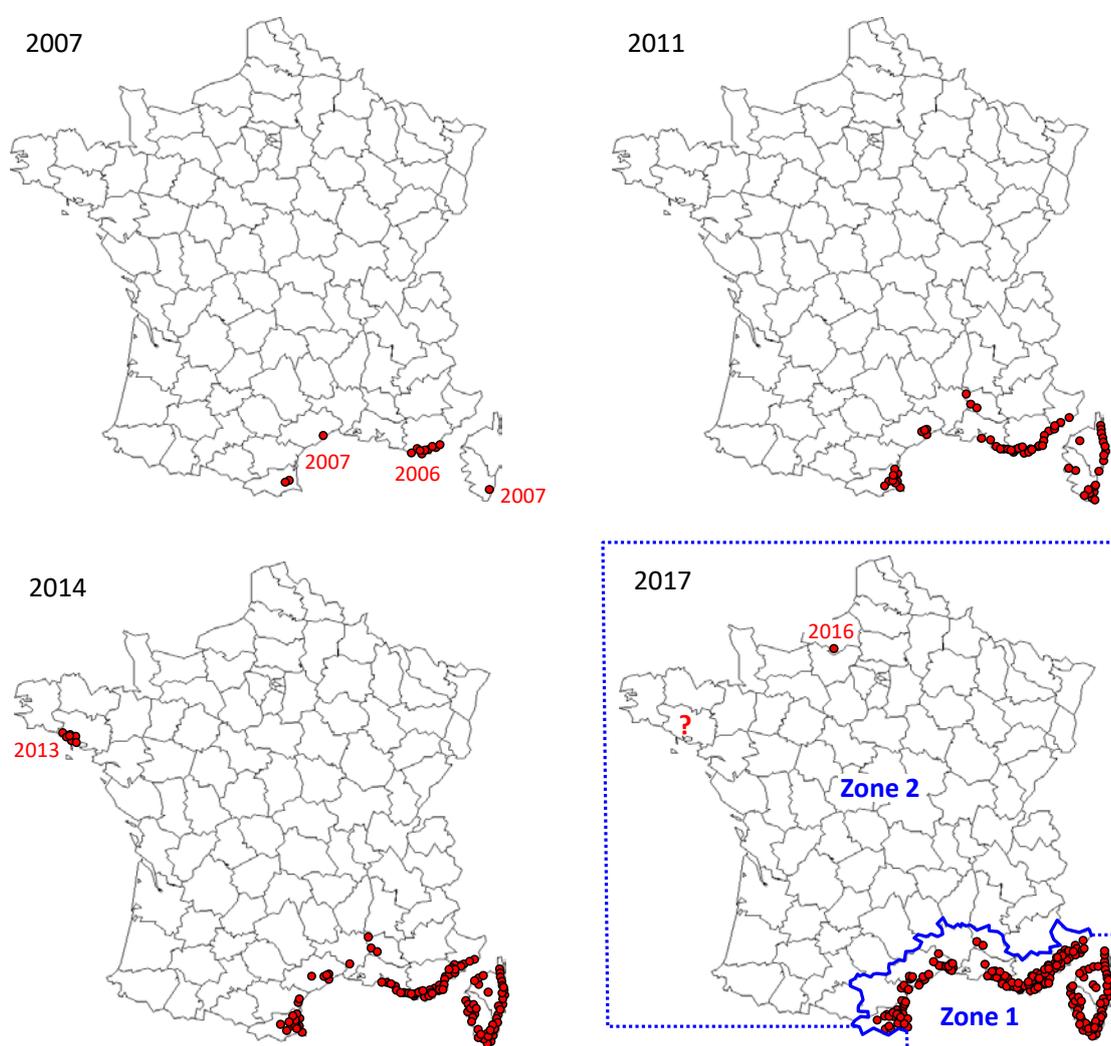


Figure 2 : Evolution du nombre de communes françaises déclarées contaminées par le CRP entre 2006 et 2017. Chaque point rouge représente une commune contaminée. Pour chaque foyer d'infestation primaire, l'année de première détection (palmier infesté ou piège positif) est indiquée en rouge. La zone 1 est constituée des six départements du littoral méditerranéen (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard, Bouches du Rhône, Var et Alpes-Maritimes) et de la Corse. La zone 2 est constituée du reste de la France métropolitaine.

Une progression lente a été constatée dans certains départements (ex : Hérault, Vaucluse), alors qu'elle a été plus rapide dans d'autres (ex : Alpes-Maritimes, Var et Pyrénées-Orientales), semble-t-il à cause d'une introduction antérieure, de conditions climatiques plus favorables et de mouvements de palmiers contaminés dont les volumes sont supposés plus importants (Roberti *et al.*, 2013). Le CRP a par ailleurs été détecté en 2013 en Bretagne (Morbihan) et en 2017 en Normandie (Seine-Maritime) ; dans ces départements de la façade atlantique et de la Manche la situation semble être actuellement sous contrôle (objectif d'éradication toujours d'actualité) et n'est en rien comparable à celle qui prévaut sur le littoral méditerranéen, ne serait-ce que du fait de la plus faible densité de palmiers. Notons que depuis 2013, les FREDON Poitou-Charentes et Aquitaine (nouvellement Nouvelle Aquitaine) ont mis en place un réseau de surveillance par piégeage. Les FREDON Ile-de-France et Nouvelle Aquitaine réalisent sur leur territoire des prospections dans les zones identifiées à risques où des diagnostics phytosanitaires sur végétaux sensibles qui n'ont pas abouti à la détection de CRP à ce jour.

Région PACA

Le premier signalement (cinq cas distincts) est intervenu en PACA en 2006 (OEPP, 2006 ; Anonyme, 2007a ; Roberti *et al.*, 2013) : un cas sur la commune de Grimaud, dans une pépinière, sur plusieurs espèces de palmiers importées de différents pays (Italie, Espagne, Brésil et Egypte) ; un cas sur la commune de Sanary-sur-Mer dans un jardin privé situé à proximité d'un pépinière, sur *P. canariensis* ; un cas sur la commune de Sainte-Maxime, dans une pépinière, sur un lot de *P. canariensis* importés d'Italie ; un cas sur la commune de La Croix Valmer, dans un parc public, sur *P. canariensis* ; un cas sur la commune de Saint-Martin-du-Var, dans une pépinière, sur différentes espèces de palmiers. Depuis, la progression du CRP a été relativement constante vers le Nord (du littoral vers l'intérieur des terres) et vers l'Ouest de la région (FREDON, 2016 ; Figure 3). A partir de 2011 de nouvelles communes éloignées géographiquement des foyers d'infestation primaires ont été contaminées (Carry-le-Rouet, Saint-Martin-du-Var et Gilette). Certains palmiers contaminés ont ainsi été observés dans des villages relativement reculés où la population de palmiers est très peu dense. Roberti *et al.* (2013) ont avancé deux explications : foyers issus de nouvelles plantations contaminées, ou existence de foyers sur le territoire de communes intercalaires n'ayant jamais été détectés ou déclarés. Notons que la Principauté de Monaco a été déclarée contaminée en 2012. La progression du CRP a été particulièrement forte dans les Alpes-Maritimes en 2015 (15 nouvelles communes déclarées contaminées). En 2016, 5.103 palmiers contaminés ont été signalés à la DRAAF PACA et ont fait l'objet d'une notification de mesure administrative d'abattage ou d'éradication (DRAAF PACA, 2017 ; Figure 4). Le périmètre de lutte sur la frange littorale s'étend désormais de Fos-sur-Mer à Menton. Le CRP n'a plus été détecté depuis 2013 dans deux communes du Vaucluse (Cavaillon et Mondragon) ; en 2015 aucune capture de CRP n'a par ailleurs été enregistrée dans les six pièges positionnés sur cinq communes du Vaucluse (contre 3.249 captures dans 54 pièges positionnés dans le Var, 1.045 captures dans 67 pièges positionnés dans les Alpes-Maritimes et 21 captures dans 6 pièges positionnés dans les Bouches du Rhône). Le niveau d'infestation est variable entre les communes infestées et atteint parfois des pourcentages élevés. Le dernier relevé de situation daté du 1er janvier 2018 (DRAAF PACA, 2018 ; Figure 4) met en évidence que le CRP a continué son extension spatiale (signalement de foyers dans 18 nouvelles communes en 2017). Le nombre de palmiers déclarés contaminés auprès de la DRAAF a pourtant diminué au cours des deux dernières années, passant de 5.000 en 2015 à 3.000 en 2017. Pour autant il n'est pas possible de savoir si cette diminution est la conséquence des mesures de lutte, alors même que l'extension spatiale du CRP en PACA ne semble pas marquer le pas (172 communes infestées en 2017), ou s'il s'agit d'un artefact lié en réalité à une diminution

des déclarations à la DRAAF sous l'effet d'une certaine lassitude des particuliers propriétaires de palmiers. Le GT tient à préciser que les nombres de palmiers déclarés infestés pour les années 2015 et 2016 figurant dans le bilan du 1^{er} janvier 2018 (DRAAF PACA, 2018) apparaissent minorés d'environ 10% et 20% par rapport à ceux qui figurent dans le bilan du 1^{er} janvier 2017 (DRAAF PACA, 2017 ; désormais non accessible) ; il n'a pas été possible d'identifier la cause de cette différence (correction d'un jeu de données à l'origine erroné ?), ce qui pose à la fois la question de la fiabilité des données d'épidémiosurveillance qui sont rendues publiques chaque année et de leur archivage.

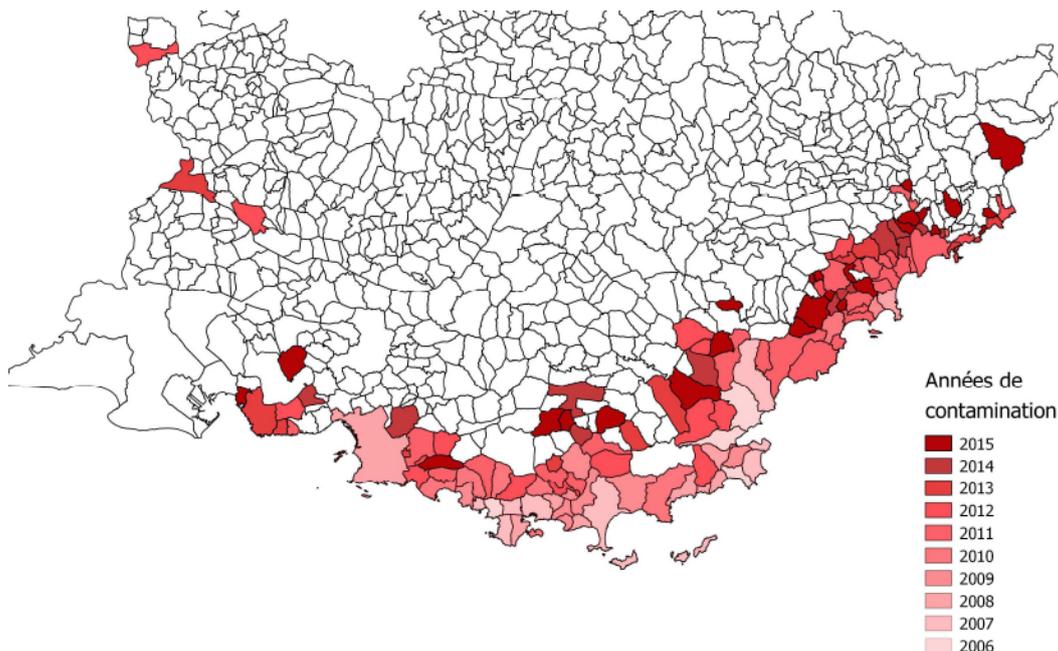


Figure 3 : Carte de l'évolution des communes contaminées en PACA de 2006 à 2015 (FREDON, 2016).

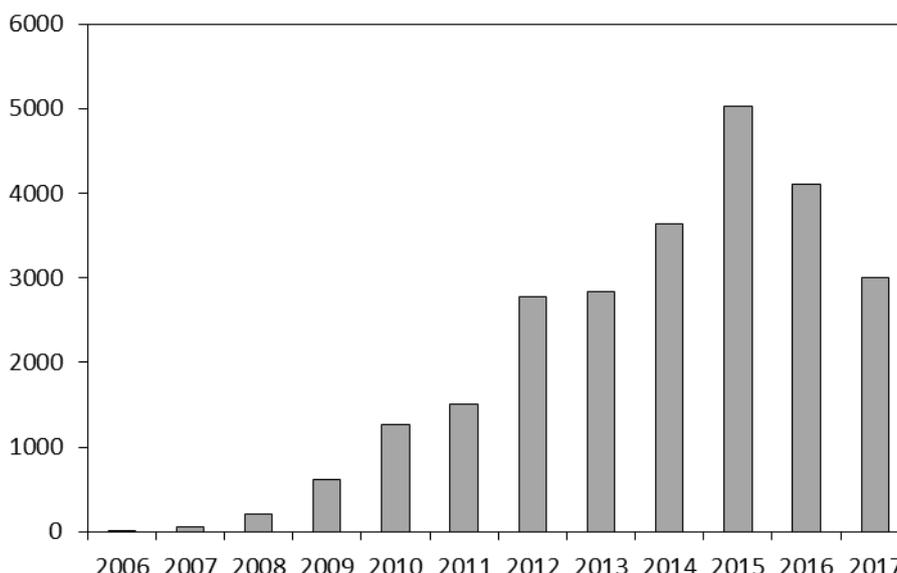


Figure 4 : Evolution du nombre de palmiers contaminés dans la région PACA entre 2006 et 2017 (DRAAF PACA, 2018).

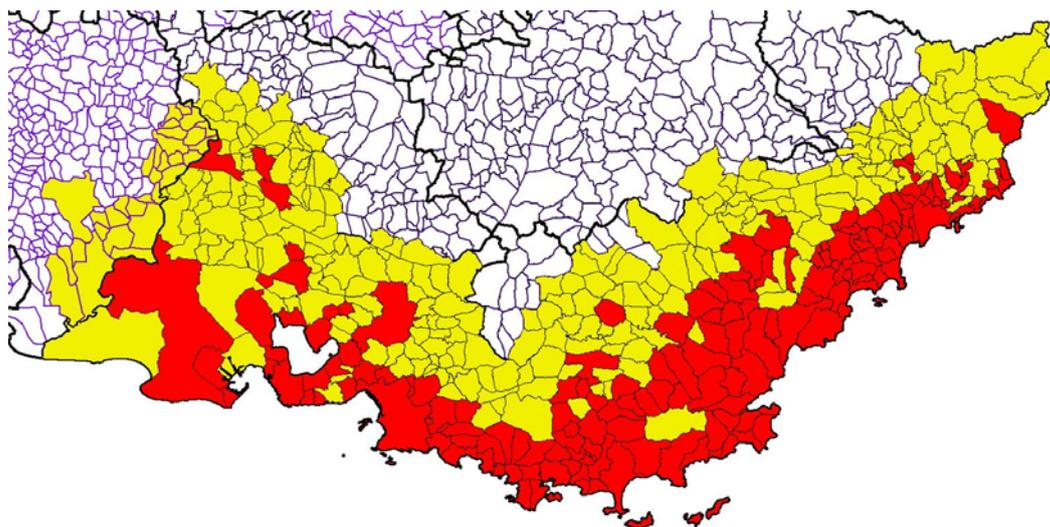


Figure 5 : Carte des communes contaminées en PACA au 1^{er} janvier 2018 et de la zone tampon (telle que définie à l'arrêté du 21/07/2010 consolidé, à savoir un disque de 10 km de diamètre autour des foyers ; toute commune incluant une fraction de zone tampon est coloriée intégralement ; DRAAF PACA, 2018).

Région Occitanie

Les premiers signalements sont intervenus dans la région Occitanie en 2007 (OEPP, 2007; Anonyme, 2007b ; Roberti *et al.*, 2013) sur les communes de Palavas-les-flots (Hérault), Thuir et Toulouges (Pyrénées-Orientales) (FREDON, 2010). La progression du CRP s'est intensifiée à partir de 2010. L'année 2015 a été marquée par un développement particulièrement important des contaminations, principalement dans les Pyrénées-Orientales où l'on est passé de quelques palmiers (très majoritairement *P. canariensis*) infestés en 2010, à 130 en 2012, 700 en 2014, puis 1.267 en 2015 (DRAAF Occitanie, 2015 ; FREDON, 2016 ; Figure 6). Ce doublement du nombre de cas en seulement un an n'est pas sans rappeler l'évolution constatée entre 2009 et 2010 dans la région PACA, cinq ans également après la détection des premiers foyers. Le CRP continue actuellement de progresser sur les quatre départements littoraux avec des intensités variables (Figure 5). En 2017, 98 communes présentaient des foyers, avec 1.177 nouveaux palmiers déclarés contaminés. Les Pyrénées-Orientales sont actuellement le département le plus touché, avec une nette progression du CRP vers l'intérieur des terres et 75 communes contaminées (23 de plus qu'en 2014) contre 14 dans l'Hérault, 4 dans l'Aude, et 4 dans le Gard, qui fut le dernier département d'Occitanie où le CRP a été détecté (DRAAF Occitanie, 2017 ; Figure 7).

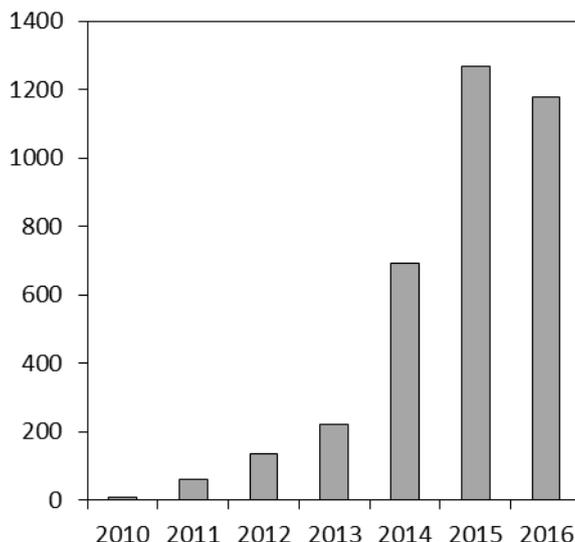


Figure 6 : Evolution du nombre de palmiers contaminés dans la région Occitanie entre 2010 et 2015 (DRAAF LR-MP, 2015; FREDON, 2016).

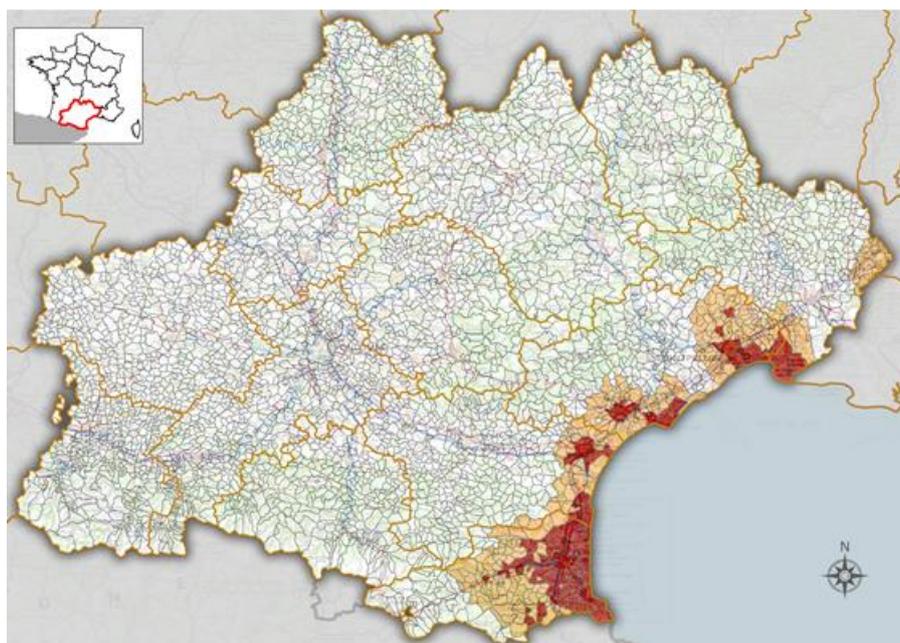


Figure 7 : Carte des communes contaminées en région Occitanie au 1^{er} novembre 2017 et de la zone tampon (DRAAF Occitanie, 2017).

Région Corse

Le premier signalement est intervenu dans la région Corse en 2006 sur la commune de Porto-Vecchio (OEPP, 2007 ; Anonyme, 2007a). Les niveaux de captures, très élevés dès les deux premières années (en moyenne 10 CRP par piège en 2006 et 74 en 2007), suggèrent que le CRP était présent sur l'île depuis un certain temps (Roberti *et al.*, 2013). Le nombre de communes contaminées a augmenté progressivement, quoique relativement lentement jusqu'en 2009 (Figure 8). Le suivi de cette progression a permis de mettre en évidence trois foyers primaires distincts (Ajaccio, Porto-Vecchio et Moriani), suggérant que des contaminations initiales multiples ont pu

avoir pour origine l'importation de palmiers contaminés (Roberti *et al.*, 2013). Une forte augmentation de la présence du CRP a été constatée en 2015. Le nombre de communes contaminées a fortement progressé : 36 en 2015, soit près du double de 2014, avec un développement important sur l'ensemble de la côte Ouest (FREDON, 2016; Figure 9). Avec 113 communes contaminées, la quasi-totalité de la Corse se trouvait en zone tampon fin 2015.

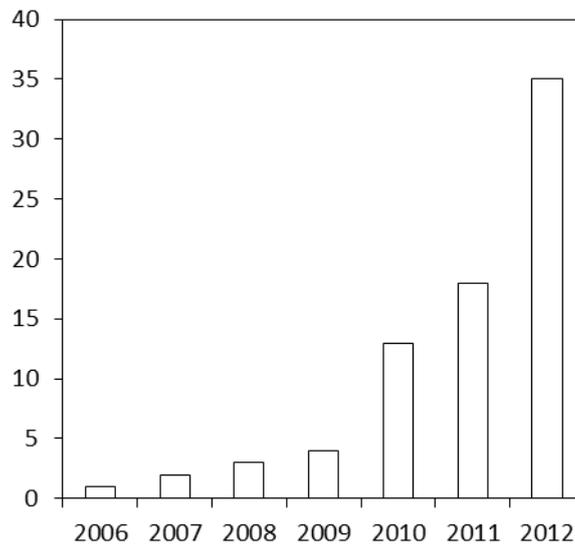


Figure 8 : Evolution du nombre de communes déclarées infestées en Corse entre 2006 et 2012 (Roberti *et al.*, 2013).

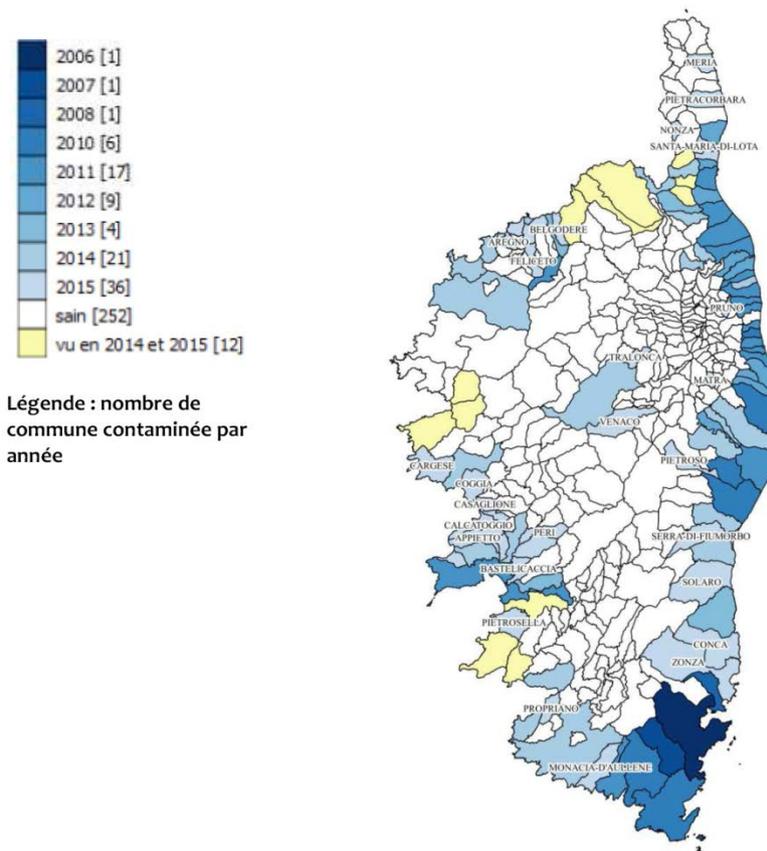


Figure 9 : Carte de l'évolution des communes contaminées en Corse de 2006 à 2015 (FREDON, 2016).

Région Bretagne

L'année 2013 a vu une nouvelle région française contaminée, la Bretagne, la première en dehors de la frange littorale méditerranéenne. Plusieurs foyers ont été identifiés dans le département du Morbihan sur les communes de Ploemeur, Larmor-Plage, Locmiquélic, Moréac, Plaudren et Caudan (OEPP, 2013). La présence du CRP a été confirmée en 2014 sur sept communes entre Ploemeur et Larmor plage. Il semble que la source de cette contamination ait été l'importation de palmiers des Canaries (*P. canariensis*) contaminés depuis une pépinière espagnole. Cette même année le préfet du Morbihan a pris un arrêté définissant des mesures de surveillance et de lutte contre le CRP et des actions de vigilance de la part des détenteurs de palmiers, principalement de l'espèce *Phoenix canariensis*. Hennebont, Guidel, Gestel, Ploemeur, Caudan, ainsi que 53 autres communes du département ont fait partie d'un périmètre placé sous surveillance pour éradiquer le CRP. La FREDON Bretagne a mis en place un dispositif de suivi des palmiers recensés dans la commune de Guidel. Une campagne de détection a par ailleurs été mise en place en 2015 dans le nord du Finistère (Chauveau 2015; FREDON, 2015). Le GT n'a pas pu obtenir d'information sur la situation actuelle, la demande officielle transmise début mai 2018 au ministère de l'Agriculture étant restée sans réponse. Si elle était confirmée, l'absence de nouveau signalement dans le Morbihan après 2016 pourrait s'expliquer par le fait que des périodes de gel assez longues ont été enregistrées pendant l'hiver 2016-2017 avec des températures inférieures aux températures létales pour les différents stades du CRP.

Région Normandie

En 2017 une surveillance a été mise en place en Seine-Maritime et dans l'Eure par la FREDON Haute-Normandie suite à la découverte en 2016 sur la commune de Saint-Pierre-lès-Elbeuf d'un *P.*

canariensis (provenant d'une jardinerie) infesté par le CRP (DRAAF et Chambre d'Agriculture de Normandie, 2016). Les propriétaires de *P. canariensis* d'une cinquantaine de communes constituant une zone de surveillance approfondie du CRP ont été appelés à se faire connaître. Conformément aux arrêtés préfectoraux des 24 août 2016 (Eure) et 26 août 2016 (Seine-Maritime) listant les communes ciblées, une zone de surveillance approfondie de 10 km de rayon a été mise en place autour de Saint-Pierre-les-Elbeuf (DRAAF et Chambre d'Agriculture de Normandie, 2016 ; Anonyme, 2016). La FREDON a été chargée de contacter les clients potentiels de la jardinerie source de la contamination sur une zone géographique couvrant une grande partie de l'agglomération Seine-Eure, des cantons du Neubourg, d'Amfreville-la-Campagne et une partie du territoire de la Métropole Rouen-Normandie (Préfecture de la Seine-Maritime, 2017 ; FREDON, 2017). Le GT n'a pas pu obtenir d'information sur la situation actuelle.

Compte tenu de la situation française (densité de palmiers très disparate à l'échelle du territoire ; population de CRP localement bien établie et en croissance depuis une dizaine d'années) et de celle décrite dans les deux exemples précédents (îles Canaries et Israël), le GT propose de distinguer deux zones, correspondant chacune à deux dynamiques spatio-temporelles bien distinctes :

- **une zone 1 dite « méditerranéenne », dans laquelle il n'est que très peu probable d'arriver à éradiquer le CRP, et où l'objectif réaliste le plus ambitieux est de stabiliser les populations de CRP puis réduire leur impact sur la mortalité des palmiers, tout en contrôlant aussi longtemps que possible leur aire d'extension géographique avec maintien des efforts de piégeage et de détection visuelle dans les communes situées en zone tampon du périmètre de lutte tel qu'actuellement défini (zone tampon : 10 km autour de la zone de sécurité ; zone de sécurité : 100 m autour de la zone contaminée ; zone contaminée : 100 m autour du palmier ou du piège) ;**
- **une zone 2 dite « centre-atlantique » où le contrôle strict du CRP en vue de son éradication doit toujours être d'actualité.**

3 Analyse des méthodes de lutte

Une quinzaine de méthodes de lutte contre le CRP ont été identifiées. Elles reposent sur des moyens mécaniques, chimiques et biologiques.

3.1 Critères d'évaluation

Les **différentes méthodes de lutte contre le CRP** ont été caractérisées selon 11 critères qui prennent en compte les performances et les contraintes d'usage.

1. Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif. Capacité de la méthode à détruire une population de CRP lorsqu'elle est appliquée sur un palmier infesté.

Echelle qualitative allant de 0 à 4 (na = non pertinent ou non quantifiable ; 0 = pas d'information ; 1 = potentiellement efficace mais faible et nécessitant l'application de mesures complémentaires ; 2 = efficacité prouvée mais insuffisante ; 3 = efficacité prouvée mais conditionnée à des critères associés ; 4 = efficacité ne nécessitant pas l'application de mesure complémentaire). Pas de notation quantitative possible.

2. Magnitude de l'efficacité d'un traitement préventif. Capacité de la méthode à empêcher un palmier sain d'être infesté par le CRP.

Echelle qualitative allant de 0 à 4 (na = non pertinent ou non quantifiable ; 0 = pas d'information ; 1 = potentiellement efficace mais faible et nécessitant l'application de mesures complémentaires ; 2 = efficacité prouvée mais insuffisante ; 3 = efficacité prouvée mais conditionnée à des critères associés ; 4 = efficacité ne nécessitant pas l'application de mesure complémentaire). Pas de notation quantitative possible.

3. Rémanence de l'effet d'un traitement curatif. Durée pendant laquelle l'application ponctuelle de la méthode (= 1 opération de traitement) conserve son efficacité curative.

Notation quantitative estimée en nombre de jours.

4. Rémanence de l'effet d'un traitement préventif. Durée pendant laquelle l'application ponctuelle de la méthode (= 1 opération de traitement) conserve son efficacité préventive.

Notation quantitative estimée en nombre de jours.

5. Durabilité de l'efficacité de la méthode. Risque que l'efficacité intrinsèque de la méthode diminue de façon significative au cours du temps (par exemple à cause de l'apparition dans les populations d'individus résistants à certains insecticides ou agents de lutte biologique, ou contournant les résistances variétales de certains palmiers).

Echelle qualitative allant de 1 à 4 (na = non pertinent ou non quantifiable ; 1 = risque élevé ; 2 = risque modéré ; 3 = risque faible ; 4 = risque nul à quasi-nul). Pas de notation quantitative possible.

6. Opérationnalité d'un traitement. Degré d'applicabilité de la méthode compte tenu du stade de développement dont elle fait l'objet.

Echelle qualitative allant de 1 à 4 (na = non pertinent ou non quantifiable ; 1 = stade recherche de base ; 2 = stade de développement ; 3 = en application quelque part dans le monde ; 4 = déjà en application en France). Pas de notation quantitative possible.

7. Praticité de mise en œuvre d'un traitement. Niveau de difficulté technique et logistique associée à l'exécution du traitement.

Echelle qualitative allant de 1 à 4 (na = non pertinent ou non quantifiable ; 1 = difficile ; 2 = assez difficile ; 3 = assez facile ; 4 = facile). Pas de notation quantitative possible.

8. Coût annuel d'un traitement. Coût de la mise en œuvre du traitement d'un seul palmier. Pour tenir compte de la nature et des modalités de mise en œuvre de la méthode, ce coût est estimé pour un traitement unique (tarif « individuel ») ou pour des traitements groupés (tarif « moyen », avec économies d'échelle).

Coût estimé en euros par palmier.

9. Innocuité d'un traitement pour l'environnement. Impact potentiel d'un traitement sur l'environnement (biodiversité, qualité de l'eau, etc.) lorsque celui-ci est pratiqué dans le respect de la réglementation et des bonnes pratiques.

Echelle qualitative allant de 1 à 4 (na = non pertinent ou non quantifiable ; 1 = incidence forte ; 2 = incidence modérée ; 3 = incidence faible ; 4 = sans incidence). Pas de notation quantitative possible.

10. Innocuité d'un traitement pour l'opérateur. Impact potentiel d'un traitement sur la santé d'un applicateur - professionnel ou particulier - lorsque celui-ci est pratiqué dans le respect de la réglementation et des bonnes pratiques, prenant toutefois en compte le fait que son caractère répétitif peut conduire à un accroissement du risque lié notamment à une diminution de vigilance.

Echelle qualitative allant de 1 à 4 (na = non pertinent ou non quantifiable ; 1 = incidence forte ; 2 = incidence modérée ; 3 = incidence faible ; 4 = sans incidence). Pas de notation quantitative possible.

11. Innocuité d'un traitement pour le palmier. Impact potentiel d'un traitement sur l'état physiologique d'un palmier et son espérance de vie par rapport à un palmier non infesté ou non menacé par le CRP et qui n'aurait pas été traité.

Echelle qualitative allant de 1 à 4 (na = non pertinent ou non quantifiable ; 1 = fatal ; 2 = incidence forte ; 3 = incidence modérée ; 4 = incidence faible). Pas de notation quantitative possible.

3.2 Caractérisations des méthodes de lutte : description et évaluation

Les méthodes ont été caractérisées à l'échelle d'un palmier (approche individu centré).

3.2.1. Gestion mécanique des palmiers infestés

La gestion mécanique des palmiers infestés passe par l'assainissement de palmiers par curetage (associé à des traitements fongicides et insecticides) et l'abattage de ceux qui sont très infestés, voire morts. Les deux méthodes, indissociables, ont été distinguées dans leur caractérisation.

Assainissement par curetage et traitements associés

Le protocole d'assainissement par curetage a fait l'objet d'une note du ministère de l'Agriculture dans le cadre d'un protocole d'intervention sur palmier infesté par le CRP. L'élimination du CRP par l'assainissement consiste en l'excision et l'élimination des palmes mortes et sénescents suivie d'un curetage de tissus proches du bourgeon apical. Cette élimination physique des tissus doit être obligatoirement précédée d'un traitement insecticide (chimique ou biologique). En effet, le curetage à lui seul est une mesure contre-productive puisque les blessures causées lors de l'assainissement induisent l'émission par le palmier de composés volatils qui attirent les CRP. Le curetage doit par ailleurs immédiatement être suivi d'un traitement fongicide pour protéger le bourgeon apical d'attaques de champignons pathogènes opportunistes.

Abattage

L'abattage d'un palmier consiste à le faire tomber à terre par sectionnement du stipe. L'abattage des palmiers est réalisé à la tronçonneuse. En général, le palmier est coupé au-dessus du sol (abattage à culée blanche). Un dessouchage est ensuite possible. L'abattage peut être considéré comme le stade ultime de l'assainissement dans le cas de la gestion mécanique de foyers d'infestation.

A noter que dans le cadre de la lutte obligatoire contre le CRP, une des mesures est la destruction totale du palmier dès lors que le bourgeon terminal est atteint. En effet, l'arrêté ministériel du 21 juillet 2010 prévoit actuellement l'abattage des sujets les plus infestés, selon un protocole bien défini. Cette opération doit être effectuée par une personne agréée et fait l'objet de mesures d'accompagnement

Magnitude de l'efficacité en curatif = 3 (assainissement) et 4 (abattage)

L'efficacité de la gestion mécanique des palmiers infestés et des mesures d'accompagnement est bonne.

Magnitude de l'efficacité en préventif = na

La gestion mécanique des palmiers n'a pas d'effet préventif à l'échelle d'un individu. Etant donné l'approche palmier-centrée adoptée pour l'évaluation de chaque méthode, les effets préventifs de la gestion mécanique de palmiers infestés (réduction des sources d'infestation à l'échelle d'un territoire), quoiqu'importants à l'échelle d'une population de CRP, n'ont pas été ici pris en compte.

Rémanence de l'effet du traitement curatif = 30 jours (assainissement) et na (abattage)

La gestion mécanique des palmiers infestés a une action ponctuelle sans rémanence dans le temps sur la protection du palmier. Une ré-infestation peut théoriquement avoir lieu dès le curetage achevé. Cette rémanence est toutefois fortement augmentée par le traitement insecticide (chimique ou biologique) qui est censé être systématiquement associé au curetage. La rémanence de l'opération d'assainissement est donc considérée comme identique à celle du traitement insecticide, estimée à 30 jours.

Rémanence de l'effet du traitement préventif = na

La gestion mécanique des palmiers n'a pas d'effet préventif à l'échelle d'un individu.

Durabilité de l'efficacité de la méthode = 4

La gestion mécanique des palmiers infestés n'exerçant aucune pression de sélection adaptative sur le CRP, il n'y a pas lieu de considérer un risque d'apparition d'une résistance quelconque.

Opérationnalité du traitement = 4

Cette pratique est déjà largement appliquée en France.

Praticité de mise en œuvre = 2

La gestion mécanique des palmiers infestés est pratiquée par des professionnels formés et agréés. Elle requiert des équipements adaptés, sachant que la taille des palmiers rend parfois l'accessibilité des couronnes difficile pour le traitement à réaliser sur certains sites (domaine public, voirie, jardins privés, etc.).

Coût du traitement

Le coût de la gestion mécanique des palmiers infestés peut être très variable en fonction de la taille du palmier et du niveau d'assainissement (curetage ou abattage). Le coût d'un abattage complet (incluant l'évacuation et le traitement des déchets) a été estimé à 1300 euros/palmier. Le coût d'un assainissement par curetage (incluant les mesures d'accompagnement) a été estimé à 350 euros/palmier.

Innocuité du traitement pour l'environnement = 3.5 (assainissement) et 4 (abattage)

La gestion mécanique des palmiers infestés n'a pas d'impact sur l'environnement du palmier traité, à l'exception du traitement insecticide associé à l'assainissement.

Innocuité du traitement pour l'opérateur = 3

La gestion mécanique des palmiers infestés est une opération de bucheronnage avec les risques associés à cette activité professionnelle.

Innocuité du traitement pour le palmier = 2 (assainissement) et na (abattage)

La gestion mécanique a un impact variable sur un palmier. Dans le cas d'un assainissement simple l'impact peut être fort (assainissement pratiqué en automne pouvant conduire à des mortalités provoquées par le gel hivernal ou des contaminations fongiques favorisées par l'humidité). L'impact d'un abattage est par définition radical (na).

3.2.2. Méthodes de lutte chimique et biologique

3.2.2.1. Méthodes actuellement autorisées contre le CRP en France

L'arrêté du 21 juillet 2010 (version consolidée du 4 décembre 2015) explicite trois stratégies de lutte contre le CRP à base d'un produit phytopharmaceutique issu de la chimie de synthèse en association ou non avec un produit de lutte biologique. L'imidaclopride est la composante chimique des stratégies n°1 et n°2, en association avec une préparation à base de nématode entomopathogène (BIOREND R). L'autorisation de mise sur le marché du produit CONFIDOR 240 OD à base d'imidaclopride (22 g/L) a toutefois été retirée en 2013. Le benzoate d'émamectine est la composante de la stratégie n°3 de l'Arrêté du 21 juillet 2010 (version consolidée du 4 décembre 2015) et doit être appliqué par injection dans le stipe des palmiers (Anses, 2012a ; Anses, 2014b).

En pratique, trois produits phytopharmaceutiques disposent actuellement d'une autorisation de mise sur le marché en France pour lutter contre le CRP :

- le produit REVIVE (société SYNGENTA) à base de benzoate d'émamectine (42,9 g/L), autorisé depuis 2014 pour l'usage « arbres et arbustes * traitement des parties aériennes * CRP », est utilisé en injection dans le stipe du palmier avec 2 à 4 trous par palmier (Anses, 2014a) ;
- le produit OSTRINIL (société ARYSTA), produit de biocontrôle à base de la souche 147 de *Beauveria bassiana*, champignon entomopathogène, autorisé depuis 2009 pour l'usage « arbres et arbustes * traitement des parties aériennes * ravageurs divers », est utilisé à raison de 3 à 10 g par palme, ou de 35 à 100 g par mètre linéaire de stipe selon les essences de palmiers (Anses 2012b). L'OSTRINIL est vendu uniquement à des professionnels possédant un certificat individuel phytosanitaire (Certiphyto) par des distributeurs agréés du réseau TechniPalm. L'OSTRINIL a été testé sur le CRP et a révélé une efficacité préventive équivalente à celle de la référence chimique (Anses, 2012b ; Anses, 2016).
- Le produit ARY-0711b-01 (société ARYSTA), produit de biocontrôle à base de la souche NPP11B005 de *Beauveria bassiana*, champignon entomopathogène, autorisé depuis 2018 pour l'usage « arbres et arbustes * traitement des parties aériennes * ravageurs divers », est conditionné sous forme de microgranulés et appliqué au niveau de la partie supérieure des palmiers. La souche NPP11B005 a fait l'objet d'un avis de l'Anses suite à une demande relative aux traitements à mettre en œuvre dans le cas de la lutte contre le CRP (Anses, 2016) et le produit ARYY-0711b-01 est inclus depuis mai 2018 dans la liste des produits de biocontrôle (au sens de l'article L. 253-5 du code rural ; Anses 2017a).

D'autre part, les nématodes entomopathogènes sont des macro-organismes utilisés en lutte biologique contre le CRP qui ne nécessitent pas d'AMM. L'espèce *Steinernema carpocapsae* (Dembilio *et al.*, 2010) est mentionnée dans l'Arrêté du 26 février 2015 établissant la liste des macro-organismes non indigènes utiles aux végétaux, notamment dans le cadre de la lutte biologique dispensée de demande d'autorisation d'entrée sur un territoire et d'introduction dans l'environnement. Parmi les produits qui en contiennent, on peut citer le BIOREND R (notifié dans l'Arrêté du 21 juillet 2010, versions consolidées du 4 décembre 2015 et du 30 juin 2016) et NEMENVI (<http://www.technipalm.com/maladies-du-palmier/charancon-rouge-du-palmier/traitement-bio>).

3.2.2.2. Méthodes de lutte chimique

Imidaclopride

L'autorisation de mise sur le marché du produit CONFIDOR 240 OD à base d'imidaclopride (22 g/L) a été retirée en 2013. L'imidaclopride est un insecticide de la famille des néonicotinoïdes. L'utilisation de ces produits a été interdite à partir du 1er septembre 2018 par la loi biodiversité. Ce produit n'est plus disponible depuis cette date et n'a donc été intégré dans aucune des stratégies.

Injection de benzoate d'émamectine

Magnitude de l'efficacité en curatif = 2

L'efficacité curative de l'injection sur des larves en place, bien que suspectée, n'a jamais été formellement établie *in situ*.

Magnitude de l'efficacité en préventif = 3

La préparation REVIVE, à base de benzoate d'émamectine, est homologuée pour une action préventive par injection dans le stipe afin de protéger les palmiers sains et assainis (Anses, 2014a).

Rémanence de l'effet du traitement curatif = 365 jours

La périodicité du traitement est de 12 mois.

Durabilité de l'efficacité de la méthode = 3

Comme tout produit phytopharmaceutique le benzoate d'émamectine est susceptible d'exercer une pression de sélection adaptative sur les populations de CRP. Il appartient à la famille chimique des avermectines (groupe 6 - Insecticide Resistance Action Committee) et agit au niveau du système neuromusculaire en tant qu'agoniste du canal chlore. Quelques cas de résistance métabolique ou morphologique aux avermectines ont été signalés sur les insectes suivants : *Bemisia tabaci*, *Cacopsylla pyri*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Musca domestica* et *Plutella xylostella*. Aucun cas de résistance n'a été rapporté pour le CRP et le risque d'apparition de résistance lié à l'utilisation de benzoate d'émamectine est donc considéré comme modéré.

Opérationnalité du traitement = 4

Cette pratique est appliquée en France (Anses 2014a). La disponibilité du produit est cependant liée à la politique commerciale de la société Syngenta qui le fabrique et le distribue.

Praticité de mise en œuvre = 3

La préparation est appliquée par injection du produit dans des trous de 6 mm de diamètre et de 15 à 30 cm de profondeur forés dans le stipe au niveau de la poitrine (entre 100 et 170 cm du sol). La préparation est appliquée à l'aide d'un pistolet à injection depuis une chambre permettant le dosage souhaité (Anses 2012a). Le pistolet est relié à un tube d'alimentation et deux bouteilles interconnectées entre elles (de 1 L chacune), l'une contenant le produit, l'autre de l'air pressurisé. Il est actuellement obligatoire de procéder à l'ablation des éventuelles inflorescences pour protéger les insectes pollinisateurs après l'injection. Cette opération nécessite d'intervenir au sommet du palmier, limitant ainsi la praticité de la méthode et augmentant son coût moyen.

Coût du traitement : 170 euros/an/palmier (hors coût de castration)

Le coût du traitement varie de 72 euros par palmier (meilleur prix négocié auprès de SYNGENTA par la CAVEM) à 256 euros pour le traitement lui-même, auquel il faut ajouter environ 100 euros pour l'opération de castration du palmier, le coût effectif de ce dernier poste étant variable en fonction de la taille et du nombre de palmiers à traiter. Un traitement par an est préconisé. A noter que le coût de castration devra être ajouté pour certains palmiers puisque la réglementation actuelle impose de couper les inflorescences pendant la période de rémanence des insecticides.

Innocuité du traitement pour l'environnement = 3

Compte tenu des conditions d'application de la préparation, l'exposition des organismes vivants au produit et une contamination des eaux souterraines par la substance active et ses produits de dégradation sont considérés comme faibles.

Innocuité du traitement pour l'opérateur = 3

Les risques sanitaires pour les opérateurs appliquant la préparation REVIVE avec un pistolet à injection sont considérés comme acceptables. L'opérateur doit avoir été formé et porter les équipements de protection individuels adéquates.

Innocuité du traitement pour le palmier = 3

L'innocuité de la préparation REVIVE pour le palmier est considérée comme acceptable. Le cumul des trous de perforation effectués chaque année a toutefois pour conséquence une limitation dans le temps de cette méthode du fait la fragilisation des palmiers par le perçage répété du stipe.

3.2.2.3. Méthodes de lutte biologique

« A ce jour, aucune méthode de lutte biologique n'est satisfaisante quand il s'agit de l'appliquer à l'échelle du terrain et pendant une longue période. Alors que ces méthodes ont été encouragées comme traitement préventif des palmiers ornementaux dans les zones urbaines, elles ont été abandonnées quelques années plus tard à cause de leur coût onéreux et les difficultés d'application que cela représente pour appliquer le traitement plusieurs fois par an » (FAO, 2017). Reginald (1973) rapporte que les ennemis naturels ne peuvent pas jouer un rôle décisif pour contrôler le CRP. A noter que ces méthodes sont pourtant très largement reprises par certaines municipalités sur la Côte d'Azur telles que Nice (Besse *et al.*, 2013 ; Besse et Panchaud, 2018 ; <https://www.petitesaffiches.fr/vie-locale,017/lutte-contre-le-charancon-rouge-du,12183.html>).

Champignon entomopathogène *Beauveria bassiana*

Les champignons entomopathogènes du genre *Beauveria* infectent les insectes par contact en pénétrant à travers leur cuticule. Ils peuvent être infectés à la fois par un traitement direct ou par une transmission horizontale à partir de CRP déjà infectés (ou leurs cadavres) vers des CRP adultes sains ou vers des stades plus précoces. *B. bassiana* existe naturellement dans la zone d'origine du CRP. Il en régule naturellement les populations dans un environnement ombragé et humide, où règne une certaine chaleur propice à sa multiplication. Trois souches de *B. bassiana* sont actuellement autorisées en France : 203, 147 et 111 (voir ci-après).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = 2

L'infection des CRP adultes par *B. bassiana* a pour résultat de réduire la fécondité et l'éclosion des œufs (Dembilio et Jacas, 2013). La souche de *B. bassiana* 203 (PHOEMYC+) est autorisée en France pour le traitement des palmiers des genres *Phoenix*, *Washingtonia*, *Chamaerops* et *Trachycarpus* contre le CRP. La conclusion d'une expérimentation sur le terrain (territoire de la commune d'Elche en Espagne) rapportée par la société GLEN BIOTECH est que cette souche présente une efficacité équivalente à celle de l'imidaclopride, la référence chimique. Les résultats d'une autre expérimentation (jeunes palmiers en mésocosmes) communiqués par cette société font état d'une efficacité curative très élevée, proche de 95% (Figure 10a). La souche de *B. bassiana* 147 (OSTRINIL), déjà autorisée en France pour le traitement des palmiers contre *Paysandisia archon*, d'après les résultats rapportés par la société VEGETECH qui la commercialise, également au moins aussi efficace contre le CRP que l'imidaclopride (respectivement 64% et 51% d'efficacité). La souche 111 (NPP111B005), commercialisée par la société ARYSTA LIFE SCIENCE NPP semble présenter une efficacité moyenne intermédiaire entre les souches 203 et 147 (88% ; Figure 10b).

De manière générale, les données fragmentaires parfois issues de documents non publiés (et donc non validés scientifiquement) peuvent faire douter des niveaux d'efficacité de *B. bassiana* qu'il est réellement possible d'obtenir sur le terrain, tant en application curative que préventive (voir ci-après). La question de la validité des estimations d'efficacité de *B. bassiana* s'est posée au GT, notamment dans le cas de l'expérimentation menée par GLEN BIOTECH à Elche. Les conclusions sont très discutables car en partie liées à des symptômes (« entailles dans les feuilles ») qui seraient, selon GLEN BIOTECH, la conséquence de l'alimentation des larves du CRP. En conséquence, le GT estime que la communication autour de tels résultats devrait être consolidée par au moins un retour d'expérience sur le terrain probant. Au niveau de la ville de Nice, le traitement exclusivement biologique de palmiers patrimoniaux ne semble malheureusement pas avoir permis d'éviter des pertes importantes. Une analyse complète et rigoureuse de la situation après traitement, impliquant notamment la comparaison avec les résultats obtenus par la CAVEM avec les injections de benzoate d'émamectine pratiquées à grande échelle (plan ARECAP) pourrait s'avérer très utile.

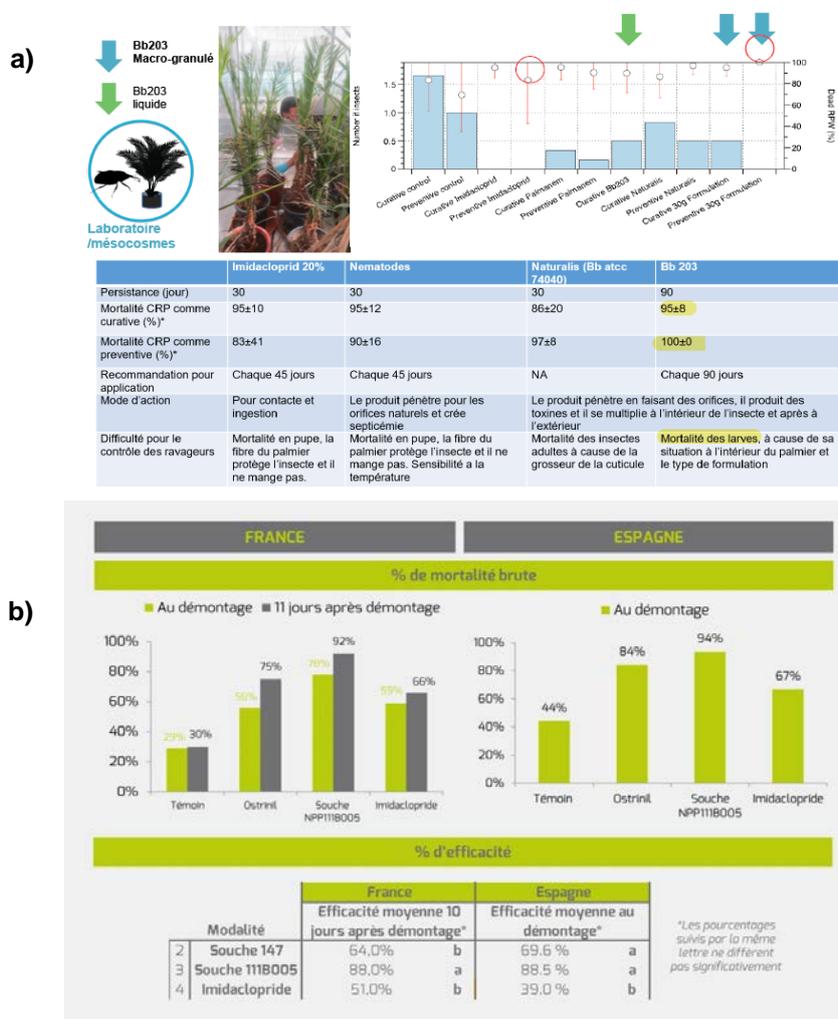


Figure 10 : Efficacité des souches des souches a) 203 et b) 111 de *Beauveria bassiana* contre le CRP (source GLEN BIOTECH ; (démontage = abattage ; source ARYSTA LIFE SCIENCE NPP / TECHNIPALM, <http://www.technipalm.com/maladies-du-palmier/charancon-rouge-du-palmier/traitement-bio>)

Tous les stades de l'insecte sont sensibles au champignon. Les micro-granulés libèrent les spores sous l'effet de l'humidité. Les spores se fixent alors sur l'insecte, germent et pénètrent dans son organisme. Le champignon se développe et l'insecte meurt en général en 2 à 5 jours, voire 10 jours selon les conditions météorologiques. Après la mort de l'insecte, quand le champignon n'a plus de milieu nutritif pour se développer, il émet des spores qui sont disséminées dans le milieu environnant et peuvent contaminer un nouvel hôte. Une pandémie peut ainsi être potentiellement générée dans la population locale de CRP (<https://www.elan-antibes.fr/app/download/13760459/Traitements+palmiers.pdf> ; <http://technipalm.com/maladies-du-palmier/charancon-rouge-du-palmier/traitement-bio>).

Depuis 2011, l'efficacité en conditions d'infestations naturelles a été évaluée par des essais réalisés sur des communes du Var et des Alpes-Maritimes ainsi que dans les jardins du palais princier de Monaco (Besse *et al.*, 2013 ; Besse et Panchaud, 2018). Certaines présentations suggèrent que la souche 111 de *B. bassiana* pourrait avoir un effet curatif, mais aucune donnée scientifique objective ne permet de confirmer cela (Besse et Panchaud, 2018).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en préventif = 3

B. bassiana peut être en mesure de réguler les populations dans des conditions environnementales adaptées (ombre, humidité, chaleur). Les traitements préventifs doivent se faire en période de forte pression de l'insecte (émergence et migration d'adultes) pour être efficaces. Des tests réalisés sur le terrain pendant 5 ans à partir de la formulation de produit microgranulé semblent avoir fait la preuve de l'efficacité préventive du produit (Besse et Panchaud, 2018).

Rémanence de l'effet d'un traitement curatif = 30 jours

L'espacement minimum préconisé entre deux applications de *B. bassiana* est de 21 jours et l'arrêté ministériel du 21 juillet 2010 recommande de procéder à un traitement toutes les 3-4 semaines. Quatre applications (deux au printemps et deux à l'automne) sont préconisées pour la souche 147, contre huit (quatre au printemps et quatre à l'automne) pour la souche 111. Les traitements ne sont pas très efficaces en été compte tenu de la faible humidité. Des données biologiques permettant d'estimer la rémanence de l'effet sont toutefois manquantes.

Rémanence de l'effet d'un traitement préventif = 30 jours

On peut estimer que la rémanence d'une application est identique qu'elle soit appliquée dans un objectif curatif ou préventif. Les résultats des traitements effectués de 2011 à 2016 à Hyères, Monaco, Menton, Nice et au Pradet (Var) ont montré l'intérêt d'applications répétées mensuellement de la souche 111 (Besse et Panchaud, 2018). La société GLEN BIOTECH préconise des applications de la souche 203 tous les 3 mois, estimant donc que la rémanence est de 90 jours. Cette durée peut toutefois sembler surestimée compte tenu des lacunes méthodologiques des expérimentations dont sont issus ces conclusions (voir plus haut).

Durabilité de l'efficacité de la méthode = 3

Il n'existe pas de travaux rapportant la sélection de CRP résistant à *B. bassiana*. Cependant, l'utilisation de *B. bassiana* sur les palmiers est récente et a porté sur un nombre d'individus relativement limité. La pression de sélection, à supposer qu'elle existe, n'a pas encore permis l'émergence de populations de CRP résistantes (Dubovskiy *et al.*, 2013), notamment chez le ver blanc de la canne à sucre (*Hoplochelus marginalis* ; Régis Goebel, communication personnelle).

Opérationnalité d'un traitement = 4

Le traitement est réalisé soit par pulvérisation des parties aériennes des palmiers (annexe 3 de l'arrêté du 21 juillet 2010), soit par saupoudrage de la tête du palmier (microgranulés composés de 5.10^8 spores/g de matière sèche de la souche 147) de manière à atteindre le bourgeon apical. En pratique quatre applications sont réalisées : mars/avril, avril/mai, septembre/octobre et octobre/novembre, chacune étant espacée de la précédente d'au moins 21 jours.

Praticité de mise en œuvre d'un traitement = 2

Seules les entreprises bénéficiant de l'agrément prévu par l'article L. 254-1 du code rural et les services jardins et espaces verts de collectivités qui répondent aux exigences de l'arrêté du 25 novembre 2011 peuvent mettre en œuvre le traitement. Il se fait depuis le sol jusqu'à 5 m de hauteur. L'application nécessite l'utilisation d'une nacelle pour les palmiers de grande taille, ce qui n'est pas sans poser certaines difficultés. L'application à sec minimise le développement secondaire de maladies fongiques. La conservation des granulés est bonne (au réfrigérateur de 3-4 mois à 2 ans à 4°C, dans un sac hermétique. Les spores sont sensibles aux UV. De nouvelles méthodes d'application de *B. bassiana* en milieu urbain, plus adaptées pour atteindre le cœur de grands palmiers (drônes, perche télescopique), sont en cours de développement et permettraient de maximiser l'efficacité du produit tout en assurant une grande précision du traitement (Besse et Panchaud, 2018).

Coût annuel d'un traitement = 460 euros

A raison de 4 traitements par an pour la souche 147 [(25 euros pour le produit + 75 euros pour la nacelle + 15 euros de main d'œuvre) * 4 traitements], le coût de la méthode a été estimé à 460 euros/palmier/an.

Innocuité d'un traitement pour l'environnement = 3

Le produit est totalement inoffensif pour les animaux domestiques et son utilisation est autorisée en agriculture biologique. Cependant, il n'a pas une action spécifique sur le CRP. Les conditions d'application doivent donc avoir pour objectif secondaire de minimiser l'impact du produit sur les autres insectes et notamment les pollinisateurs, qui sont sensibles à *B. bassiana*. L'impact de certaines souches de *B. bassiana* semblent n'être significatif sur les abeilles domestiques que si elles rentrent en contact direct avec les spores de champignons lors de la pulvérisation (Meikle et al., 2008 ; Potrich et al., 2018). Malgré cette « toxicité » effective, le risque pour les abeilles peut toutefois être estimé comme étant modéré dès lors que leur exposition au produit est limitée. Cela implique l'absence d'inflorescence, voire qu'elles soient éliminées, au moment de l'application du produit, ou que le produit ne soit pas appliqué pendant la (brève) période où les pollinisateurs sont présents. Le GT tient par ailleurs à préciser qu'il lui semble peu cohérent que le même argument soit utilisé pour justifier l'interdiction de l'utilisation de l'imidaclopride et/ou un éventuel refus d'accorder des dérogations permettant de continuer à utiliser l'imidaclopride dans le strict cadre des opérations de lutte contre le CRP, à défaut d'autoriser un autre produit insecticide de substitution.

Innocuité d'un traitement pour l'opérateur = 4

Le produit est inoffensif pour la santé humaine donc sans risque pour l'applicateur comme pour le public.

Innocuité d'un traitement pour le palmier = 4

Les souches de *B. bassiana* ne sont pas pathogènes pour le palmier.

Nématodes entomopathogènes

Il existe de très nombreuses espèces de nématodes s'attaquant aux insectes dont seulement quelques-unes sont utilisées en lutte biologique. Il s'agit principalement de *Heterorhabditis bacteriophora*, *Heterorhabditis bacteriophora*, *Steinernema feltiae* et *Steinernema carpocapsae*, présentes à l'état naturel en France. Le troisième stade juvénile infectieux peut survivre en dehors de l'insecte hôte et est généralement capable de rechercher activement un hôte. Le nématode pénètre dans son hôte par tous les orifices et s'y multiplie. Au bout de 2 à 3 semaines, les nombreux nématodes qui se sont développés quittent le corps des insectes pour s'attaquer à d'autres larves poursuivant ainsi l'action du traitement. La mort de l'insecte due au parasitisme par le nématode est causée par une bactérie Gram-négatif présente dans l'intestin du troisième stade infectieux du nématode (Forst et Clarke, 2002).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = 2.5

L'espèce utilisée en lutte biologique contre le CRP est *S. carpocapsae*. L'efficacité de *S. carpocapsae* dans une formulation à base de chitosane est de 80% en application curative sur différentes espèces de palmiers. Cette combinaison a donné des résultats positifs dans de nombreux sites (Llácer *et al.*, 2009 ; Dembilio *et al.*, 2010 ; Martinez de Alltube *et al.*, 2013). Manachini *et al.* (2013) notent le rôle clé du système immunitaire du CRP dans la multiplication des nématodes entomopathogènes à l'intérieur de leur hôte. Bien que le nématode puisse éviter l'encapsulation par les hémocytes du CRP, des capacités de défense du système humorale et cellulaire importantes du CRP contre la bactérie symbiotique ont été détectées (Jaques *et al.*, 2017). L'habitat cryptique du CRP rend difficile l'évaluation du succès des traitements (Atwa et Hegazi, 2014). L'éthanol, l'acide acétique et l'acétate d'éthyle libérés par les tissus des palmiers infestés par le CRP empêchent l'activité des nématodes entomopathogènes *Heterorhabditis indica* (Monzer et El-Rahman, 2003). En curatif, les nématodes sont généralement utilisés pour des palmiers de moins de 20 cm de diamètre de stipe (Castellana, 2017). L'action des nématodes est rapide et les premiers résultats sont observables après 48-72h.

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en préventif = 3

L'efficacité de *S. carpocapsae* dans une formulation à base de chitosane est de plus de 98% en application préventive sur différentes espèces de palmiers. Cette formulation ont donné des résultats positifs dans de nombreux sites (Llácer *et al.*, 2009 ; Dembilio *et al.*, 2010b ; Martinez de Alltube *et al.*, 2013). Le traitement d'une centaine de palmiers a montré qu'ils récupéraient bien après l'application de nématodes (Glazer, com. pers.in Ortega-Garcia *et al.*, 2017). En traitement préventif, l'application de nématodes doit être renouvelée 8 à 9 fois par an à un mois d'intervalle (tous les mois en zone côtière chaude).

Rémanence de l'effet d'un traitement curatif = 20 jours

Les résultats sont décevants lorsque les nématodes sont appliqués à l'occasion d'expérimentations sur le terrain à cause des températures élevées, des radiations UV importantes et d'un taux d'humidité relativement faible qui affectent la survie des nématodes (Abbas *et al.*, 2001 ; Saleh *et al.*, 2011). L'utilisation de chitosane dans la formulation protège ces agents de lutte biologique en augmentant et stabilisant leur niveau d'efficacité (Dembilio *et al.*, 2010b). La rémanence est assez faible et a conduit à préconiser une périodicité de traitement de 21 jours en utilisation saisonnière (printemps et automne).

Rémanence de l'effet d'un traitement préventif = 10 jours

Le traitement est efficace tant qu'il y a des CRP (larves et adultes) présents dans la couronne du palmier : les nématodes sont susceptibles de les infecter, de s'y multiplier, de causer leur mort pour ensuite se propager et infecter d'autres hôtes (larves et imagos). La durée d'action du traitement est ainsi augmentée. Au-delà de 10 jours, les nématodes n'ayant pas pu parasiter un hôte meurent, raison pour laquelle la rémanence du traitement est faible, limitant *de facto* son efficacité (<https://sauvonsnospalmiers.fr/nematodes-un-point-de-vue-tres-pertinent.html>).

Durabilité de l'efficacité de la méthode = 4

Aucun résultat ne fait état de l'apparition de CRP résistants à *S. carpocapsae*. Cependant, l'utilisation de ce nématode sur les palmiers est récente et a porté sur un faible nombre d'individus. La pression de sélection encore faible n'a peut-être pas permis l'émergence de populations de CRP résistantes. La probabilité d'apparition de résistance du CRP à *S. carpocapsae* est estimée faible étant donné qu'aucun cas n'a jamais été reporté.

Opérationnalité d'un traitement = 4

Les nématodes sont mélangés à de la poudre d'argile utilisée comme excipient pour faciliter l'application (<http://www.biotop.fr/nos-produits-par-gamme/lutte-biologique/par-les-nematodes/16-nos-produits/lutte-biologique/151-nemapalmier.html>). La période d'utilisation des nématodes préconisée dans l'arrêté du 21 juillet 2010 (voir plus haut) correspond à la période où la température du cœur de l'arbre est comprise entre 12°C et 25°C. Une fois la présence du charançon détectée, il est nécessaire d'humidifier le haut du palmier (10 L d'eau 30 minutes avant l'application) pour faciliter la dispersion des nématodes. Il est préconisé de traiter le matin ou dans la soirée en dehors des heures chaudes de la journée ou par temps couvert. Un bon nettoyage de l'équipement avant usage est essentiel. Le diamètre de la buse doit être supérieur à 0.5 mm et la pression inférieure à 10 bars. En pratique, il faut diluer le sachet de nématodes dans l'eau (exemple 50 millions de nématodes dans 10 L d'eau) et pulvériser la solution au niveau du haut du stipe sur un mètre jusqu'au bourgeon apical. Il est important de maintenir humide le haut du palmier pendant au moins 2 semaines pour permettre le développement de la population de nématodes. A noter que *S. carpocapsae* est commercialisé sous une nouvelle formulation (gel) qui permet une conservation plus longue avant utilisation.

Mode d'emploi

	PALMANEM 50 MILLIONS	PALMANEM 500 MILLIONS	PALMANEM 2 500 MILLIONS
Dose	1 boîte pour 25 L de bouillie	1 boîte pour 250 L de bouillie (2 sachets)	1 boîte pour 1250 L de bouillie (10 sachets)
Volume de bouillie par arbre		5* à 15 L de bouillie	
Nombre d'arbres traités	De 1 à 5 palmiers	De 15 à 50 palmiers	De 80 à 250 palmiers

* En pépinières, réduire le volume de bouillie pour les petits sujets.

Dose NémaPalmier pour une intervention	Degré d'infestation	Nombre de palmiers à traiter (variable selon leur taille)	Volume total d'eau à ajouter	Volume de mélange à pulvériser sur chaque palmier
500 millions	Moyen	10 à 50	200 à 250 l	De 5 l (petit) à 15 l (grand)
	Fort	6 à 20	100 l	
Recommandation : 1 pulvérisation mensuelle aux mois indiqués				

	Poudre soluble (ancienne formule)	Gel (nouvelle formule)
Apparence	Poudre fine	Solution pâteuse (plus compacte que la poudre)
Conservation à compter de la date de production (en milieu réfrigéré entre 2 et 6°C avant utilisation)	<ul style="list-style-type: none"> Insectes du sol et Ravageurs du palmier : 6 à 8 semaines Vers blancs : 4 à 5 semaines 	<ul style="list-style-type: none"> Insectes du sol et Ravageurs du palmier : 14 à 16 semaines Vers blancs : 6 à 8 semaines
Comportement des nématodes en solution (une fois mélangés à de l'eau)	Dilution des nématodes très aisée, légère sédimentation nécessitant de remuer la solution régulièrement	Dilution des nématodes assez aisée (bien respecter le volume d'eau préconisé), moins de sédimentation dans le pulvérisateur ou l'arrosoir
Utilisation	A diluer dans l'eau pour arrosage ou pulvérisation (pour une dilution optimale, bien respecter les quantités d'eau préconisées, minimum 5L)	
Observation après application	Traces blanchâtres sur le feuillage	Absence de résidus blanchâtres sur le feuillage

Figure 11 : Exemples de conditions d'utilisation des produits à base de *Steinernema carpocapsae* pour lutter contre le CRP

(https://www.koppert.fr/fileadmin/Koppert/PDF/FR/Plaque_Palmanem.pdf; https://fr.jardins-animes.com/nematode-contre-charancon-rouge-palmier-nemapalmier-p-1142.html#detail_produit).

Praticité de mise en œuvre d'un traitement = 2

Les forts niveaux d'infestation nécessitent plusieurs pulvérisations par an. Une nacelle est nécessaire pour atteindre la couronne des grands palmiers. Cependant, l'application de *S. carpocapsae* reste une solution biologique adaptée pour le traitement des palmiers ornementaux en zone urbaine (Dembilio et Jacas, 2013). Les nématodes entomopathogènes sont compatibles avec un grand nombre de produits chimiques et biologiques (Lacey et Georgis, 2012).

Coût annuel d'un traitement = 400 euros/an/palmier

Les nématodes sont multipliés en masse sur milieu liquide ce qui permet de réduire le coût de production (Ehlers, 2003). Il faut compter 25 euros pour traiter 1 à 5 palmiers (50 millions de nématodes). Le coût du produit utilisé peut donc être ramené à une dizaine d'euros par application

si on prend en compte les économies d'échelle. Le coût total peut donc être estimé à [(10 euros pour le produit + 75 euros pour la nacelle + 15 euros de main d'œuvre) * 4] 400 euros/palmier/an.

Innocuité d'un traitement pour l'environnement = 4

L'utilisation de nématodes est sans danger pour l'environnement (Ehlers, 2003 ; Lacey et Georgis, 2012). L'action de *S. carpocapsae* est spécifique. La méthode est donc considérée comme respectueuse des insectes utiles aux cultures et des pollinisateurs.

Innocuité d'un traitement pour l'opérateur = 4

L'utilisation de nématodes est sans danger pour les vertébrés non-cibles (Ehlers, 2003 ; Lacey et Georgis, 2012). Le traitement est inoffensif pour l'homme et sans toxicité pour les applicateurs et le public.

Innocuité d'un traitement pour le palmier = 4

Steinernema carpocapsae n'est pas phytotoxique.

Piégeage de masse à base de phéromone

Le piégeage de masse consiste à éliminer par le déploiement de pièges attractifs contenant des phéromones d'agrégation le plus grand nombre possible de CRP. Les pièges contiennent le plus souvent une solution insecticide ou détergente qui tue les CRP. La méthode repose sur une très forte sélectivité vis-à-vis de la cible, une capture des deux sexes avec une majorité de femelles (2 à 3 pour 1 mâle) dues aux caractéristiques de la phéromone (Abozuhairah *et al.*, 1996 ; Hallett *et al.*, 1993 ; 1999) et un usage limité d'insecticides (voire aucun usage).

Magnitude de l'efficacité en curatif = na

Magnitude de l'efficacité en préventif = 3

La littérature démontre le potentiel de cette technique pour contrôler et parfois éradiquer des insectes ravageurs tels que des lépidoptères, des mouches des fruits, des coléoptères forestiers (scolytes) et ravageurs des palmiers, dont le CRP, en soulignant toutefois que l'effet est obtenu sur le long terme (2 à 5 ans en général ; El-Sayed *et al.*, 2006).

L'efficacité dépend de la densité de la population cible et du rapport entre cette densité et celle des pièges déployés, à minima de 5 pièges/ha, souvent davantage. Faleiro *et al.* (2011) précisent les densités de pièges préconisées pour piéger le CRP en palmeraie dattière en Arabie Saoudite. Il n'y a guère de succès à espérer pour des espèces très abondantes et largement distribuées. L'efficacité est d'autant meilleure que les populations-cibles sont réduites et isolées (El-Sayed *et al.*, 2006).

L'efficacité est bonne si et seulement si les attractifs utilisés sont de bonne qualité (parfaitement mimétiques des substances naturelles qui attirent l'insecte-cible) et si on dispose d'une connaissance fine de la biologie cet insecte, en particulier de sa reproduction.

La généralisation d'une espèce à une autre n'est pas possible. Il n'existe guère de modèles pratiques pour définir a priori quelle densité de pièges déployer pour obtenir tel résultat à une échéance donnée.

Dans le cas du CRP, l'efficacité de cette méthode est difficile à quantifier avec précision car aucun piégeage de masse du CRP n'a jamais été mis en œuvre seul à large échelle. Le piégeage a toujours été associé à des traitements chimiques et à la destruction des palmiers très infestés. Il

a néanmoins été très utilisé au Moyen-Orient et en Inde depuis la fin des années 1990 et l'a été aux îles Canaries de 2007 à 2016 et jugé comme une composante efficace des programmes de gestion du CRP (Revue : El-Sayed *et al.*, 2006 ; Faleiro, 2006 ; Jaques *et al.*, 2017 ; Israël : Soroker *et al.*, 2005 ; 2013 ; Canaries : Martín *et al.*, 2013, Fajardo, 2017 ; Arabie Saoudite : Vidyasagar *et al.*, 2000 ; Faleiro *et al.*, 2011 ; Giblin-Davis *et al.*, 2013). La phéromone de CRP a été, en 2010, parmi les médiateurs chimiques les plus vendus au monde pour la gestion intégrée d'insectes nuisibles (Witzgall *et al.*, 2010).

Chez une espèce voisine, *Rhynchophorus palmarum*, un abaissement drastique de population (> 90%) a été obtenu en 2 ans sur 30 ha de palmier à huile par piégeage de masse avec 243 pièges (8,1 pièges/ha) et a permis de diviser par deux la perte de palmiers par la maladie de l'anneau rouge dont ce charançon est vecteur. Un résultat analogue a été obtenu sur plusieurs milliers d'hectares au Costa-Rica en près de 5 ans (Oehlschlager *et al.*, 1995 ; 2002).

Rémanence = 60 à 90 jours

La rémanence de la méthode est directement dépendante de la durée de vie des attractifs et, plus marginalement, de la saturation des pièges en CRP. Ce dernier point concerne surtout les pièges de faible capacité qui diffèrent des modèles optimaux recommandés.

Les diffuseurs de phéromone et de co-attractif (acétate d'éthyle + éthanol) ont une durée de vie maximale de 2 mois en été sur le littoral ouest méditerranéen pour les systèmes les plus performants. Il est primordial de veiller au renouvellement des attractifs avant leur épuisement, ce que permet en général un simple contrôle visuel (présence d'un liquide coloré dans un réservoir). L'emploi de co-attractif naturel additionnel doit être renouvelé toutes les 3 semaines pour une efficacité optimale. Il s'agit d'une contrainte importante dont les utilisateurs cherchent généralement à faire l'économie.

Durabilité vis-à-vis d'une résistance insecticide = 4

Le piégeage ne présente a priori aucun risque d'apparition de résistance s'il est mis en œuvre sans l'emploi d'insecticide, et un risque quasiment nul d'apparition de résistance à l'insecticide utilisé dans les pièges puisque les insectes piégés meurent dans le piège. Il serait théoriquement possible de concevoir un piège à entrée sans sortie contenant seulement la substance attractive et un agent mouillant pour favoriser la noyade des CRP ce qui éviterait les manipulations d'insecticide. Un emploi en alternance d'insecticides ayant des modes d'action distincts permettrait de gérer efficacement ce risque. On ne connaît aucune résistance éthologique des insectes à l'usage de phéromone, les mécanismes impliqués n'étant pas de type relation gène-pour-gène mais basés sur des processus neurosensoriels complexes sous contrôle multigénique.

Opérationnalité = 4

Plusieurs sociétés commercialisent en France des diffuseurs de phéromone de CRP stable et relativement bon marché, comparé à d'autres phéromones.

La phéromone est synergique avec les substances émises par des tissus de palmiers en fermentation (revue : Giblin-Davis *et al.*, 1996 ; Peri *et al.*, 2017 ; Hallett *et al.*, 1993 ; Abdullah et Al-Khatiri, 2005 ; Vacas *et al.*, 2014 ; 2016). La plupart des attractifs commerciaux contiennent de l'acétate d'éthyle. Vacas *et al.* (2014 ; 2016) ont montré que le mélange 3:1 d'éthanol + acétate d'éthyle est plus efficace que l'acétate d'éthyle seul. Les travaux comparatifs montrent toutefois que les co-attractifs synthétiques simples ne sont le plus souvent pas compétitifs avec une odeur

naturelle de palmier. Il est donc recommandé d'ajouter des fragments de tissu de palmier au piège, qui doit être renouvelé toutes les 2 à 3 semaines, pour optimiser les captures (Hamidi *et al.*, 2013 ; Peri *et al.*, 2017).

Le piégeage de masse nécessite l'emploi d'un piège. Deux modèles largement éprouvés sont optimaux pour capturer le CRP (Rochat *et al.*, 2013 ; Hamidi *et al.*, 2013 ; Vacas *et al.*, 2013). Il s'agit du modèle « seau avec couvercle » et du modèle « pyramidal » (Picusan). Le second modèle, plus récent, serait selon Vacas *et al.* (2013) plus efficace que le premier. Pour les deux, un volume minimal de 10 L, une surface externe rugueuse, un design éprouvé (ouvertures) et une couleur noire ou rouge sont déterminants pour la pénétration et la rétention optimales du CRP. L'ajout d'eau avec l'usage de co-attractif naturel accroît sans ambiguïté les captures (Vacas *et al.*, 2013).

La mise en œuvre d'un piégeage de masse est tout à fait possible en France d'un point de vue théorique avec la disponibilité des matériels nécessaires et de recommandations techniques précises pour leur usage (Rochat *et al.*, 2013 ; Hamidi *et al.*, 2013 ; Soroker *et al.*, 2017).

Le déploiement des pièges débute le plus souvent par une phase de surveillance réalisée à une densité homogène de 0,1 à 1 piège/ha visant à identifier les foyers et leur intensité. Le réseau de pièges peut être cartographié par un système d'information géographique (SIG) pour un traitement rapide et rigoureux selon une fréquence hebdomadaire (idéale) à mensuelle (*a minima*). Une cartographie des palmiers et des infestations doit être disponible pour un croisement efficace des informations (ex. Soroker *et al.*, 2005 ; Martín *et al.*, 2013 ; Pontikakos *et al.*, 2017).

L'efficacité du piégeage de masse est conditionnée par la capacité à faire évoluer rapidement la densité locale des pièges en fonction de l'évolution des foyers identifiés par les captures (micro-réseaux de piégeage dynamique), qu'ils soient confirmés ou non par détection de palmiers infestés, et en intégrant les résultats des autres actions de lutte menées (traitement insecticide, curetage, abattage). La densité des pièges doit être augmentée à proximité immédiate d'un point de capture pour instaurer un véritable piégeage « de masse » (jusqu'à 10 pièges/ha). Inversement, cette densité doit être réduite après un ou deux mois sans prise.

Cette logique est basée sur le caractère agrégatif des infestations par le CRP qui traduisent un essaimage opportuniste et orienté par la capacité olfactive de l'insecte à détecter des palmiers : dans 90% des cas un palmier infesté se trouve au voisinage (100 m) d'un piège qui capture (Vidyasagar *et al.*, 2000 ; Faleiro, 2006 ; Soroker *et al.*, 2005 ; Faleiro *et al.*, 2011 ; Giblin-Davis *et al.*, 2013 ; Martín *et al.*, 2013). Il n'existe néanmoins que très peu de modèles définissant les relations et paramètres quantitatifs à mettre en œuvre pour moduler la densité en fonction des niveaux de captures ; les pratiques restent empiriques et à portée locale (Faleiro *et al.*, 2011).

Praticité = 2

Si le principe du piégeage de masse du CRP est simple, et les outils commercialisés depuis plus d'une décennie sont de bonne qualité, les nombreux retours d'expérience montrent que sa mise en œuvre efficace demande des moyens très importants (main-d'œuvre, logistique, compétence technique spécialisée, coordination) et, surtout, une durée minimale de mise en œuvre. L'effort (et donc le coût) global croît naturellement avec la dimension des réseaux de pièges, la fréquence des relevés et la durée totale de mise en œuvre.

Le piégeage de masse a essentiellement été réalisé en palmeraies dattières (Moyen-Orient) ou cocoteraies (Inde) modernes qui sont des agrosystèmes simples, très homogènes,

gérés de façon centralisée par des techniciens spécialisés et une main d'œuvre abondante et bon marché. Il n'a contribué à une gestion efficace du CRP qu'au prix de la mise en œuvre coordonnée de gigantesques réseaux de pièges (plusieurs milliers à dizaines de milliers ; ex. Israël en phase 1 ; voir plus haut). A l'exception des îles Canaries, il n'existe aucun cas documenté décrivant un piégeage de masse en milieu urbain qui ait donné satisfaction, à savoir, ait été corrélé à une maîtrise du CRP.

Cinq facteurs principaux (ici non hiérarchisés), qui s'appliquent également aux autres méthodes de lutte, limitent clairement cette approche en France :

1 - Hétérogénéité extrême du milieu contaminé, non agricole - Les palmiers et les CRP sont présents en milieu urbain et non dans un agrosystème. Le plus souvent, le nombre, la nature et la localisation (terrains publics/privés, topographie) des palmiers sont mal connus. Cartographier les palmiers sur un SIG est un préalable indispensable au piégeage de masse.

2 - Vastitude des surfaces à couvrir (10^5 à 10^6 hectares pour le littoral méditerranéen) - Piéger en masse le CRP sur quelques dizaines ou centaines d'hectare n'a de sens que pour des foyers très isolés et restreints (zone 2 « centre-atlantique », pour lequel l'objectif d'éradication doit toujours être d'actualité) mais semble voué à l'échec en zone de forte infestation subcontinue sur des milliers d'hectares (zone 1 « méditerranéenne »). Déployer des pièges à haute densité est nécessaire au succès du piégeage de masse. Le faire sur d'immenses surfaces implique d'être capable de gérer sans faille des milliers de pièges pendant de nombreuses années. Un piégeage de masse mené de façon rigoureuse et efficace à l'échelle d'un vaste territoire peut s'avérer plus coûteux que le traitement des palmiers avec d'autres méthodes, et le suivi de leur niveau d'infestation.

3 - Rigueur pour la maintenance et le relevé des pièges - Ces deux points ne peuvent souffrir de manquements et de variations incontrôlées. Les défauts de maintenance des appâts réduisent l'attraction des pièges et limitent leur capacité à éliminer les CRP (Rochat *et al.*, 2013 ; Hamidi *et al.*, 2013). Des suivis irréguliers des captures rendent l'interprétation des données difficile, sinon erronée, d'autant que les vols varient avec les saisons. Une fréquence trop faible de relevés compromet gravement la réactivité nécessaire pour éliminer les individus d'un pic d'émergence par exemple ou arrivant de l'extérieur de la zone couverte. S'engager dans un piégeage de masse implique de comprendre que le succès repose sur un effort important, régulier et soutenu : il faut être certain de pouvoir maintenir une gestion très rigoureuse sur une durée de plusieurs années. Ceci pose directement la question des moyens, de leur évaluation correcte et de leur pérennité (compte tenu que certains engagements financiers peuvent ne pas être tenus).

4 - Lourdeur logistique de maintenance et suivi des pièges - Gérer un réseau de 1.000 pièges (200 ha sur une base minimale de 5 pièges/ha, ordre de grandeur utilisé par la suite pour estimer les coûts) nécessite plusieurs véhicules, du matériel, des techniciens formés pour la maintenance des pièges, la collecte et la transmission des captures selon des procédures normalisées. Un handicap majeur du piégeage de masse dans l'UE est le coût de la main d'œuvre nécessaire à la conduite des opérations : manutention des pièges, des appâts, et saisie des données de captures. Suivre à une fréquence bimensuelle 1.000 pièges implique 18.000 à 20.000 interventions ponctuelles sur le terrain dans l'année eu égard à la longue période de vol du CRP dans le Sud de la France. La dispersion des pièges nécessite des déplacements en véhicules et de parcourir à pied des distances importantes, variables selon l'accessibilité et la densité des pièges. Ce qui est déjà lourd dans des parcelles agricoles devient encore plus laborieux dans des zones littorales urbanisées et au relief souvent accidenté. Ni les communes ni les FREDONs ne

disposent actuellement d'un personnel suffisant pour couvrir le territoire contaminé en 2018 eu égard au nombre de pièges que cela impliquerait. L'appel à des prestataires rémunérés ou bénévoles peut contribuer à l'effort nécessaire mais il est essentiel de les former rigoureusement aux protocoles d'intervention et de bien comprendre que tout défaut répété d'intervention compromet le succès global. Dans ce cas, l'utilisation de pièges sans insecticide ou limitant le risque de contact avec l'insecticide serait à privilégier.

5 - Supervision centralisée des pièges - Comme déjà précisé un suivi efficace implique un géo-référencement des palmiers et des pièges avec un traitement informatisé efficace. Il est impératif de s'appuyer sur des outils modernes pour la saisie et le transfert de données depuis le terrain (ex. via smartphone, système CPLAS ; Pontikakos *et al.*, 2017). Investir pour l'acquisition de tels outils et former des personnels à leur usage, est indispensable. Si de tels moyens permettent de gagner en efficacité, encore faut-il superviser les opérations, élaborer et proposer des stratégies pertinentes et réactives face à la dynamique du CRP. Ce point a été souligné et exposé à de multiples reprises par l'un des meilleurs spécialistes mondiaux du CRP et du piégeage de masse, le Dr. Faleiro (Rome, FAO, mars 2017 ; Tunis, mai 2017). Tout réseau de piégeage de masse doit nécessairement être supervisé de façon centralisée et réactive par un agent très qualifié et expérimenté dans l'emploi des phéromones et la dynamique des bio-agresseurs végétaux. Cela a été le cas où une bonne maîtrise du CRP, en Israël, Arabie Saoudite et îles Canaries a été obtenue.

Coût = 300 euros/palmier/an

Le coût complet d'un réseau de piégeage de masse est très élevé à l'année car il inclut la main d'œuvre de terrain, le transport des matériels et le déplacement des personnels en véhicules motorisés, la gestion numérique des données et la supervision.

Donner une estimation est très délicat car le coût final dépend de facteurs en interactions : densité et accessibilité des pièges sur le terrain et fréquence de leur suivi. Une estimation à partir du coût matériel unitaire moyen qui peut être minimisé n'est toutefois pas pertinent car le succès du piégeage de masse repose sur l'effet « masse » et donc sur le nombre total des pièges déployés, nécessairement très élevé.

Le coût du matériel manufacturé spécifique au piégeage peut être estimé à partir de prix publics sur internet et de valeurs issues de la littérature grise pour des opérations menées à grande échelle dans l'UE ces dernières années : pour un piège, 10 à 50 € (selon modèle et quantité) ; pour les attractifs synthétiques (phéromone + acétate d'éthyle + éthanol), incluant 3 à 4 charges par an : 10 à 100 € (selon quantités négociées). Pour une attraction optimale, il convient d'ajouter un appât naturel et de l'eau incluant divers matériels pour préparation et manutention, correspondant à un minimum de 15 €/piège/an. Sur la base de coûts unitaires minimaux négociés en gros volume, on obtient pour 1.000 pièges pendant 3 ans : $1.000 \times [10 \text{ €/piège} + (10 \text{ € attractif synthétique/piège/an} + 15 \text{ € divers/piège/an}) \times 3 \text{ ans}] = 85.000 \text{ €}$ soit un peu plus de 28.000 €/an en négligeant les pertes (vol et casse). Il est à craindre que la réalité soit supérieure.

On peut estimer le coût de main d'œuvre sur la base raisonnable de 3 à 4 pièges gérés par heure, toutes opérations et déplacements compris, à partir de données internationales. Pour 18.000 interventions dans l'année (minima : 2 par mois pendant 9 mois de vol), le temps total de travail est compris entre 4.500 et 6.000 h, ce qui représente à raison de 35 heures/semaine, entre 29,7 et 39,6 mois d'ETP (2,5 à 3,2 personnes à plein temps par an). Si l'on considère une rémunération au SMIC avec charges patronales (1.588,47 €/mois au 1^{er} janvier 2018), le coût est

compris entre 47.129 et 62.839 €/an soit entre 141.388 et 188.518 € pour 3 ans, durée minimale raisonnable pour impacter significativement la population de CRP.

Le coût pour gérer 1.000 pièges sur 3 ans hors coût d'usage des véhicules nécessaires est donc *a minima* de 85.000 € (matériel) + 141.388 € (main d'œuvre) = 226.388 € soit 75.463 €/an. Une estimation de 90.000 €/an tous frais inclus pour gérer 1.000 pièges peut sembler correcte.

L'exercice qui consiste à ramener ce coût à un seul palmier est très délicat et forcément discutable, quoiqu'ici indispensable. Pour ce faire, nous nous sommes placés dans le cas de la zone CAVEM (34.000 ha, dont environ 10.000 ha de zone urbaine au sens large contenant environ 16.000 palmiers) et d'une utilisation de 5 pièges/ha. Une telle estimation conduit à un besoin d'utilisation d'environ 50.000 pièges (soit un peu plus de 3 pièges par palmier), dont le coût annuel serait 280 €/palmier/an. Ce coût, qui pourrait être réduit en cas de démarche participative, reste extrêmement élevé à l'échelle du territoire de la CAVEM : 4.500.000 €, correspondant en grande partie à l'implication de plus d'une centaine de personnes à temps plein.

Technologie « Attract-and-Kill »

Cette méthode, une variante du piégeage de masse précédemment décrite, consiste à appliquer dans l'environnement des gouttes de gel attractif de l'insecte-cible contenant un insecticide à effet « choc » (typiquement un pyréthrianoïde). Deux facteurs clés de succès sont d'appliquer une forte densité de points attractifs toxiques dans l'environnement à traiter (> 50 points/ha) et de disposer d'un attractif qui favorise le contact de l'insecte avec le support attractif (El-Sayed *et al.*, 2006). Cette méthode est en fort développement et connaît un certain succès depuis 20 ans, notamment contre des lépidoptères et des mouches des fruits (ver rose du cotonnier, carpocapse des pommes, etc.) où elle se substitue à la technique de confusion sexuelle (El-Sayed *et al.*, 2006).

Cette méthode permet de cibler et de réduire considérablement l'usage d'insecticide (contre le ravageur cible attiré sélectivement jusqu'au produit toxique) qui est finalement peu disséminé dans l'environnement. Elle implique le plus souvent l'emploi de phéromone et d'attractifs alimentaires.

Magnitude de l'efficacité en curatif = na

Magnitude de l'efficacité = 3

On dispose aujourd'hui de très peu de recul (2 à 3 ans) sur l'efficacité de cette méthode promue par les sociétés ISCA technologies (USA ; <https://www.iscatech.com/>) et ChemTica International (Costa Rica ; <http://www.chemtica.com/>) contre le CRP sur la base d'essais conduits en palmeraies dattières en Arabie Saoudite.

Les données relatives à la situation tunisienne suggèrent un impact très positif pour un traitement à une densité de 100 points/ha d'après des relevés de contrôles réalisés dans des pièges conventionnels ou avec des pièges qui contiennent le substrat attractif-toxique et sur la base d'une comparaison avec des parcelles gérées conventionnellement.

Rémanence de l'effet préventif = 60 jours

Les données disponibles indiquent que le gel conserve sa capacité à attirer mortellement le CRP pendant 2 mois en zone désertique ; en l'absence de données, il semble vraisemblable qu'une durée un peu supérieure prévale pour un usage en Europe.

Durabilité de l'efficacité de la méthode = 3

La durabilité est jugée bonne eu égard à la faible quantité d'insecticide appliquée comparativement aux autres méthodes de traitement des palmiers impliquant l'utilisation de ce type de produits.

Opérationnalité du traitement = 3

La méthode n'est actuellement pas autorisée en France mais la société ISCA Technologies (Riverside, California) a entrepris une démarche pour déposer un dossier d'autorisation de mise sur le marché de l'insecticide/attractant, Hook RPW (4-methyl-5-nonanone + cyperméthrin).

Praticité = 4

Le principe de la méthode est un gel applicable manuellement par un opérateur à l'aide d'une cartouche, ce qui en fait un procédé particulièrement simple à mettre en œuvre. L'avantage majeur est que la méthode ne nécessite ni piège, ni suivi de capture, ce qui simplifie considérablement la nature et le nombre des opérations à mener et donc le besoin et coût de main d'œuvre. Le dépôt d'un point actif élémentaire demande quelques secondes. Le temps de main d'œuvre principal correspond au quadrillage à pied du terrain pour répartir les points de façon homogène sur les aires à traiter avec les déplacements en véhicule pour gagner les points distants.

Cette méthode est compatible avec l'ensemble des méthodes de traitement direct des palmiers de quelque nature qu'elles soient. Elle porte le potentiel d'un effet push-pull en extirpant les CRP des zones plantées de palmier pour les tuer et en réduisant ainsi le risque de ponte sur les palmiers.

Coût = 30 euros/palmier/an

Par rapport au piégeage de masse la méthode « attract-and-kill » présente l'avantage majeur de ne nécessiter aucun piège ni suivi de capture, ce qui permet des économies substantielles en matériel et main-d'œuvre. Elle agit également en multipliant par un facteur 10 les points permettant un contact direct quasi certain entre le CRP et un insecticide. Le coût de la méthode sera a priori très nettement inférieur à celui du piégeage de masse eu égard aux éléments décrits plus haut, mais difficile à évaluer en l'absence de recul en Europe et d'une évaluation pragmatique des temps moyens nécessaires à l'application en conditions réelles.

Sur la base des chiffres présentés pour évaluer le coût du piégeage de masse (1.000 pièges distribués à une densité minimale de 5 piège/ha, couvrant 200 ha), l'évaluation suivante est proposée : réduction des coûts matériels d'au moins 3/4 pour traiter une surface équivalente ; fréquence d'application divisée par 2 avec un dépôt mensuel sans suivi en « attract-and-kill » contre un suivi bimensuel pour les pièges ; lorsqu'un agent gère 3 à 4 pièges par heure il pourra dans le même temps couvrir 3 à 4 ha avec un dépôt tous les 10 m linéaire (base d'une grille carrée théorique pour 100 points/ha avec une progression de 3 à 4 km/h, le temps de dépôt étant négligeable). Le temps nécessaire pour couvrir 200 ha peut donc être estimé à $[200 \text{ ha} / (3 \text{ à } 4 \text{ ha/h}) \times 9 \text{ passages/an}] = 450 \text{ à } 600 \text{ h/an}$. On diviserait donc le temps de travail et le coût de main d'œuvre par 10 par rapport au piégeage de masse, ce qui conduit à une estimation d'environ 30 €/palmier/an.

Innocuité du traitement pour l'environnement = 4

Les phéromones attractives sont spécifiques du CRP, le piégeage d'insectes différents est marginal.

Innocuité du traitement pour l'opérateur = 4

La quantité de produit manipulée et son conditionnement minimise les risques d'exposition à l'insecticide pour l'opérateur.

Innocuité du traitement pour les palmiers = 4

L'innocuité du traitement est élevée. Il est suggéré, en particulier pour un développement en milieu urbain hétérogène, d'appliquer le gel attractif ailleurs que sur des palmiers en respectant une distance de sécurité de 25 m.

Technologie « Attract-and-Infect »

Cette méthode consiste à attirer des CRP adultes vers un inoculum fongique (*B. bassiana*) qui les tue plus ou moins rapidement et, surtout, sera disséminé dans la population de CRP par transferts horizontal et vertical (Hajjar *et al.*, 2015 ; Dembilio *et al.*, 2018). L'attraction est opérée par les mêmes attractifs utilisés pour le piégeage de masse (phéromone et co-attractif). Le contact avec l'inoculum est optimisé pour maximiser le dépôt de spores sur le corps des CRP attirés et permettre leur dissémination. En Arabie Saoudite Hajjar *et al.* (2015) ont testé un piège de type « seau » dont les parois intérieures étaient recouvertes d'un tissu imprégné d'une solution commerciale de *B. bassiana* (Broadband). Les temps de visites et la mortalité directe conséquente, ainsi que le taux de transfert du champignon par accouplement, ont été mesurés lors d'essais en conditions contrôlées. Des équipes espagnoles ont modifié un piège pyramidal (Picusan) en y adjoignant un tunnel de 10 cm de long par 2,5 de diamètre par lequel les CRP doivent passer pour entrer et sortir et dont la paroi est imprégnée d'une formulation de conidies du champignon pathogène (Dembilio *et al.*, 2018). Les travaux antérieurs de Güerri-Agulló *et al.* (2010) et Dembilio *et al.* (2010a) avaient analysé en conditions de laboratoire les mécanismes d'infestation par le champignon et démontré l'existence de transferts horizontal et vertical dans la population de CRP.

En termes de compatibilité avec les autres méthodes, l'approche semble délicate sinon impossible avec des traitements insecticides conventionnels. En effet, si des insecticides tuent les CRP infectés, la dispersion suffisante de l'inoculum dans la population cible ne semble pas garantie.

Magnitude de l'efficacité en curatif = na

Magnitude de l'efficacité = 2

A partir d'essais de laboratoire et en conditions semi-contrôlées Hajjar *et al.* (2010) ont établi une LC_{50} de *B. Bassiana* (Broadband) de $2,19.10^7$ et $2,76.10^6$ spores/ml respectivement à 9 and 23 jours après traitement. Les LT_{50} ont été de 14,1 and 4,1 jours pour des concentrations respectives de 10^7 et 10^8 spores/ml, tandis que 10^9 spores/ml ont provoqué une mortalité de 100% en 24 heures.

Aucune donnée de terrain à large échelle n'est disponible. Dembilio *et al.* (2018) rapportent une réduction moyenne et significative de 50% ($31\pm 19\%$ vs $81\pm 22\%$) de la contamination de 4 palmiers sentinelles placés au centre d'entités carrées de 1 ha entourées de 4 pièges Attract-and-

Infect ou standards placés au sommet des carrés. Cet essai repose sur 7 paires Attract-and-Infect/témoin laissées 4 mois en 3 sites géographiques distincts.

Rémanence de l'effet du traitement = 30 jours

Aucune donnée de terrain n'est disponible. On peut estimer que la rémanence est identique à la méthode « attract and kill », le facteur limitant étant le même dans les deux approches, à savoir la phéromone.

Durabilité de l'efficacité de la méthode = 3

Cette méthode biologique ne présente a priori aucun risque de développement de résistance rapide.

Opérationnalité du traitement = 3

Cette méthode n'est actuellement pas utilisée en France mais pourrait théoriquement être mise en œuvre puisque des souches et formulations de *B. bassina* sont aujourd'hui commercialisées et des pièges modifiés pour l'Attract-and-Infect sont disponibles avec une rémanence satisfaisante des formulations (Hajjar *et al.*, 2015 ; Dembilio *et al.*, 2018). En revanche, il ne semble pas y avoir de donnée établissant la densité de pièges nécessaire à l'impact recherché en fonction des niveaux de populations cibles. Cette phase de développement reste à mener et sera déterminante pour évaluer la praticité et le coût de la méthode.

Praticité de mise en œuvre = 2

La praticité est inconnue et dépendra directement de la densité des pièges à déployer pour un impact satisfaisant. L'emploi d'appât purement synthétique pourrait limiter le besoin de maintenance des pièges en permettant un transfert d'inoculum satisfaisant et est un facteur positif.

Coût du traitement = 150 euros/palmier/an

Le coût dépend fondamentalement de celui des pièges nécessaires à la dispersion du pathogène et de la densité de déploiement pour être efficace. La densité de pièges nécessaire à cette stratégie est plus faible que pour le piégeage de masse, avec un coût de main d'œuvre un peu inférieur. Considéré comme potentiellement inférieur de moitié, le coût pourrait être estimé à environ 150 €/palmier/an.

Innocuité du traitement pour l'environnement = 4

Les phéromones attractives sont spécifiques du CRP, le piégeage d'insectes différents est marginal.

Innocuité du traitement pour l'opérateur = 4

La quantité de produit manipulée et son conditionnement minimisent les risques d'exposition à *B. Bassiana*, qui par ailleurs n'est pas connu pour être dangereux pour l'opérateur.

Innocuité du traitement pour les palmiers = 4

Le risque pour les palmiers semble extrêmement très faible.

Lutte autocide

La méthode de lutte autocide, ou technique des « mâles stériles », appliquée pour lutter contre le CRP a d'abord été évaluée par Rahalkar *et al.* (1973). L'irradiation de CRP mâles à une

dose de 1.5 Krad 1-2 jours après l'émergence du cocon induit jusqu'à 90% de stérilité. En 1974, des CRP mâles stériles ont été lâchés dans des essais à grande échelle sur des plantations de cocotier (400 ha) dans le Kerala (Inde) (Rahalkar *et al.*, 1977). Krishnakumar et Maheshwari (2004) ont montré que lorsque des mâles non-stériles remplacent des mâles irradiés au laboratoire, l'éclosion des œufs augmente de 7 % à 67 %. De plus, la radiation gamma n'a pas d'effet apparent sur la deuxième génération (Ramachandran, 1991).

Le développement de souches de CRP Oxitec RIDL (*Release of Insects with Dominant Lethality*) a été évoqué dans une proposition de projet (confidentiel) préparée par l'association française « Sauvons nos Palmiers » en novembre 2012. RIDL est une méthode de lutte biologique qui est particulièrement ciblée et sans danger pour les autres espèces et l'environnement. Les insectes mâles stériles RIDL lâchés sont porteurs d'une modification génétique. Les insectes peuvent se reproduire normalement en élevage quand les larves sont alimentées sur un milieu nutritif contenant un supplément mais ne peuvent pas se reproduire dans la nature car leur accouplement avec des femelles conduit à une descendance non-viable.

Cette technique est compatible avec d'autres méthodes de lutte intégrée telles que d'utilisation de phéromones, de prédateurs ou parasites naturels et les insecticides. Elle serait complémentaire de la dispersion d'un agent entomopathogène au sein d'une population, comme le suggèrent Llacer *et al.* (2013). Dans un essai en conditions semi-contrôlées destiné à estimer l'infestation de jeunes *Phoenix canariensis* par différentes combinaisons de mâles irradiés associés ou non à *B. bassiana*, il a été montré que les mâles irradiés pouvaient être des vecteurs efficaces de *B. bassiana* (Jaques *et al.*, 2017).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = na

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en préventif = 1

Rémanence de l'effet d'un traitement curatif = na

Rémanence de l'effet d'un traitement préventif = 30 jours

Durabilité de l'efficacité de la méthode = 4

La nature cryptique du CRP et l'opportunité pour les femelles de CRP de s'accoupler avec des mâles « normaux » sur le terrain limite le succès de la technique (Faleiro, 2006). De plus, la radiation gamma n'a pas d'effet apparent sur la deuxième génération (Ramachandran, 1991). La méthode semble donc assez peu durable à l'échelle de plusieurs années (Jaques *et al.*, 2017). Des lâchers répétés de mâles stériles sur une période suffisamment longue permettraient d'éliminer la population du ravageur.

Opérationnalité d'un traitement = 1

La méthode n'est actuellement pas opérationnelle en France.

Praticité de mise en œuvre d'un traitement = 2

La vitesse de multiplication du CRP semble trop faible pour espérer avoir suffisamment d'individus à irradier et à lâchers par rapport au nombre de mâles sauvages.

Coût annuel d'un traitement = na

Le coût de la technique est extrêmement élevé (Jaques *et al.*, 2017).

Innocuité d'un traitement pour l'environnement = 4

RIDL est une méthode de lutte biologique qui est particulièrement ciblée et sans danger pour les autres espèces et l'environnement.

Innocuité d'un traitement pour l'opérateur = 4

Innocuité d'un traitement pour le palmier = 4

Microondage de la couronne

Le principe de cette technologie est d'exposer la couronne d'un palmier potentiellement infesté à des micro-ondes qui vont pénétrer dans la masse ligneuse. Les micro-ondes interagissent en créant des vibrations et un échauffement des molécules d'eau qui composent la plupart des matières organiques, y compris celles des parasites. La surchauffe et l'hyperthermie permet de détruire ces organismes quel que soit le stade de leur développement (Massa *et al.*, 2017). Cette technologie a été brevetée (ECOPALM) par la société Bielle S.r.l pour combattre et détruire le CRP (Khatib *et al.*, 2010 ; <http://www.ecopalm.it/public/PDF/Dossier%20ECOPALM%20sprx.pdf>).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = 2

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en préventif = na

Rémanence de l'effet d'un traitement curatif = 1

Rémanence de l'effet d'un traitement préventif = na

Durabilité de l'efficacité de la méthode = 4

Opérationnalité d'un traitement = 1

Praticité de mise en œuvre d'un traitement = 1

Cette technologie a fait l'objet d'essais en Italie mais ne semble pas opérationnelle en France.

Coût annuel d'un traitement = na

Innocuité d'un traitement pour l'environnement = 4

Innocuité d'un traitement pour l'opérateur = 4

Innocuité d'un traitement pour le palmier = 3

Les tissus du palmier contiennent beaucoup d'eau et pourraient s'échauffer sous l'effet des micro-ondes davantage qu'attendu.

Virus

Les virus sont des agents pathogènes obligatoires qui peuvent se multiplier seulement à partir d'un insecte hôte vivant. Le premier cas de maladie virale sur les CRP signalé en Inde provoque la déformation des imagos et diminue leur durée de vie (Gopinadhan *et al.*, 1990). Les virus cytoplasmiques polyhédriques sont capables d'infecter tous les stades de l'insecte en conditions de laboratoire et sur le terrain (Gopinadhan *et al.*, 1990 ; El-Minshawy *et al.*, 2005). Ces virus ont été très peu utilisés comme agents de lutte biologique contre le CRP mais ils ont été combinés avec des nématodes (Salama et Abd-Elgawad, 2002).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = 1

Les virus cytoplasmiques polyhédriques parasites du CRP ne se sont pas révélés efficaces en Inde et en Egypte pour des stratégies inoculative ou inondative (Gopinadhan *et al.*, 1990 ; El-Minshawy *et al.*, 2005).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = na

Rémanence de l'effet d'un traitement curatif = na

Rémanence de l'effet d'un traitement préventif = na

Durabilité de l'efficacité de la méthode = na

Opérationnalité d'un traitement = 1

La méthode n'est actuellement pas opérationnelle en France.

Praticité de mise en œuvre d'un traitement = na

Coût annuel d'un traitement = na

Innocuité d'un traitement pour l'environnement = 4

Les virus sont des virus entomopathogènes, généralement spécifiques des espèces ciblées.

Innocuité d'un traitement pour l'opérateur = 4

Innocuité d'un traitement pour le palmier = 4

Bactérie

Des expériences ont montré que l'ingestion de spores de *Bacillus thuringiensis* pouvait coloniser l'hémolymphe sous la forme végétative et affectant le système immunitaire de l'insecte (Manachini *et al.*, 2011). Des expériences menées au laboratoire sur des œufs et sur les, deuxième et quatrième, stades larvaires avec cinq concentrations de *B. thuringiensis* ont révélé que la durée d'éclosion augmentait de façon significative et que la mortalité du deuxième stade larvaire augmentait significativement (de 17 à 94 %) au bout de deux semaines (Pu *et al.*, 2016).

L'utilisation de bactéries pathogènes doit prendre en compte la forte activité anti-bactérienne de plusieurs stades larvaires du CRP (Mazza *et al.* 2011).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = 1

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = 1

Rémanence de l'effet d'un traitement curatif = na

Rémanence de l'effet d'un traitement préventif = n/a

Durabilité de l'efficacité de la méthode = n/a

Opérationnalité d'un traitement = 1

La méthode n'est actuellement pas opérationnelle en France.

Praticité de mise en œuvre d'un traitement = na

Coût annuel d'un traitement = na

Innocuité d'un traitement pour l'environnement = 3

Innocuité d'un traitement pour l'opérateur = 4

Innocuité d'un traitement pour le palmier = 4

Protéines de fusion à base de toxines d'arachnide ou par entomotoxines fongiques

Le principe de cette méthode est d'utiliser des biopesticides, au sens large, ayant une activité strictement limitée aux insectes. Les premiers sont des constructions artificielles associant une toxine d'arachnide à une lectine. L'ensemble permet une pénétration par voie intestinale de la neurotoxine d'arachnide qui atteint le système nerveux après diffusion dans l'hémolymphe de l'insecte (Fitches *et al.*, 2004 ; 2010). Les seconds sont actuellement l'objet de travaux d'isolement et de caractérisation (toxines purifiées ou produites par génie génétique à partir de différents genres de champignons entomopathogènes collectés sur des cadavres de CRP ; Ortega-García *et al.*, 2017).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = 2

L'efficacité et la spécificité des toxines d'intérêt contre certains insectes est remarquable *in vitro* ou en conditions semi-naturelles. Des protéines de fusion exprimant des toxines d'arachnides ont été testées avec succès contre le CRP (Ortega-García *et al.*, 2017).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en préventif = 2

Rémanence de l'effet d'un traitement curatif = na

Rémanence de l'effet d'un traitement préventif = na

Durabilité de l'efficacité de la méthode = 3

Opérationnalité d'un traitement = 1

L'ensemble de ces composés naturels ou dérivés constitue des insecticides de nouvelle génération potentiels. La méthode n'est actuellement pas opérationnelle en France et aucune application ne semble prévue à court terme.

Praticité de mise en œuvre d'un traitement = 3

Ce traitement s'applique par injection dans le stipe. Le niveau de praticité est équivalent à celui du benzoate d'émamectine.

Coût annuel d'un traitement = na

Innocuité d'un traitement pour l'environnement = 3

Aucune donnée sur l'impact de ces biopesticides sur les pollinisateurs, et l'entomofaune en général, n'est disponible.

Innocuité d'un traitement pour l'opérateur = 4

Innocuité d'un traitement pour le palmier = 4

Palmiers résistants

En Espagne, Barranco *et al.* (2002) ont signalé que certaines espèces de palmiers étaient beaucoup moins sensibles (voire résistantes) au CRP. Le CRP ne peut notamment pas compléter

son cycle biologique dans des palmiers sauvages *Nannorrhops ritchiana* tandis que l'hôte préféré du CRP est la variété Mazafati de palmier dattier (Faleiro, 2006). Farazmand (2002) souligne que le sucre dans les variétés de palmier dattier favorise la croissance et l'oviposition et diminue la mortalité du CRP, alors que le calcium empêche la croissance du CRP.

Une synthèse détaillée des travaux publiés jusqu'en 2014 relatifs à la sensibilité des différentes espèces de palmiers au CRP au niveau mondial a été publiée par Rochat *et al.* (2017). Elle étend l'étude de Raciti *et al.* (2013) basée sur l'analyse des mortalités dues au CRP observée en Sicile pour les espèces d'Arecaceae les plus courantes en Méditerranée. Ces travaux montrent que *Phoenix canariensis* est très sensible au CRP. *Phoenix dactylifera* (palmier dattier) est moins affecté lorsque les deux espèces cohabitent mais sévèrement touché lorsqu'il est seul présent.

Washingtonia filifera est plus sensible que *Washingtonia robusta* mais très nettement moins sensible que le palmier des Canaries et le dattier. Les palmiers *Chamaerops humilis* et *Trachycarpus fortunei* ont révélé une certaine résistance au charançon.

Brahea armata, *Brahea edulis* et *Sabal* sp. sont des espèces sensibles aux attaques du charançon. *Butia capitata* est une espèce modérément sensible (Raciti *et al.*, 2013) mais les effectifs restreints de ces espèces ne permettent pas de quantifier ce phénomène avec précision (Rochat *et al.*, 2017).

Des hybrides de *P. canariensis* et *P. dactylifera* survivent là où de fortes populations de CRP ont décimé les *P. canariensis* et *P. dactylifera* (Raciti *et al.*, 2013). Les bases génétiques de ce résultat mériteraient d'être étudiées tout comme celle de la plus faible sensibilité de certaines variétés de dattier (Rochat *et al.*, 2017).

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = 3

Magnitude de l'efficacité d'un traitement en curatif = 3

Rémanence de l'effet d'un traitement curatif = na

Rémanence de l'effet d'un traitement préventif = 100 ans (durée de vie du palmier)

Durabilité de l'efficacité de la méthode = 3

Opérationnalité d'un traitement = 2

La méthode n'est actuellement pas opérationnelle en France car il n'existe au sein de chaque espèce aucune lignée ou cultivar commercialisé réputé significativement moins sensibles que les populations actuelles.

Praticité de mise en œuvre d'un traitement = 4

Coût annuel d'un traitement = na

Innocuité d'un traitement pour l'environnement = 4

Innocuité d'un traitement pour l'opérateur = 4

Innocuité d'un traitement pour le palmier = 4

3.3 Analyse comparative multicritère des performances des méthodes de lutte contre le charançon rouge du palmier

Les notes et les valeurs associées à chaque critère pour chaque méthode de lutte considérée ont été rassemblées pour constituer une matrice multicritère (Tableau 3).

Tableau 3 : Notes et valeurs associées à chaque critère pour chaque méthode de lutte contre le CRP.

Critères	Méthodes de lutte														
	aba ttag	assainissement par curetage (1)	injection de benzoate d'emamectine (2)	application de Beauveria bassiana (3)	application de Steinernema (4)	piegeage de masse	attract & kill	attract & infect	douche d'imidachlorpide (non autorisé)	injection imidaclopride (non autorisé)	inondation mâles stériles	microondage de la couronne	autres agents biologiques (5)	protéines de fusion	palmiers tolérants
Coût (euros/palmier/an)	1300	350	170	460	400	280	30	150	560	260					
Magnitude de l'efficacité curative	4	3	2	2	2.5				1	1		2	1	3	3
Magnitude de l'efficacité préventive			3	3	3	3	3	2	3	2	1		1	3	3
Rémanence de l'effet du traitement curatif (jours)		30	365	30	20				30	30		1	60	365	
Rémanence de l'effet du traitement préventif (jours)			365	30	10	60	120	60	30	30	30		60	365	36500
Durabilité de l'efficacité de la méthode	4	4	3	3	4	4	3	3	2	2	4	4	3	3	3
Opérationnalité	4	4	4	4	4	4	3	2	3	3	1	1	1	1	2
Praticité	2	2	3	2	2	2	4	4	2	3	2	1	1	4	4
Innocuité pour l'environnement	4	3.5	3	4	4	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4
Innocuité pour l'opérateur	3	3	3	4	4	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4
Innocuité pour le palmier		2	3	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	3	4

(1) incluant les mesures d'accompagnement

(2) aux conditions CAVEM

(3) souches 147 et NPP111B005

(4) nématode Biorend N

(5) Yasin et al., 2017

case vide = na

La méthode d'analyse multicritère choisie pour analyser les données est PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation*; Figure 12). La comparaison des méthodes de lutte a été réalisée en fusionnant les notes qualifiants la magnitude de l'efficacité en curatif et préventif, et celle de la rémanence en curatif et préventif, respectivement, en conservant la note la plus haute des deux critères.

Scénario2	magnitude e...	magnitude e...	rémanence d...	rémanence d...	Durabilité de...	opérationalité	praticité	coût	innocuité / e...	innocuité / o...	innocuité /pa...	
Unité	unit	unit	jours	jours	unit	unit	unit	euros	unit	unit	unit	
Cluster/Groupe	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	
Préférences												
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	min	max	max	max	
Poids	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Fn. de préférence	Linéaire	Forme en V	Forme en V	Forme en V	Forme en V	Forme en V	Forme en V	Forme en V	Linéaire	Forme en V	Forme en V	
Seuils	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	
- Q: Indifférence	0,03	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	342,25	n/d	n/d	n/d	
- P: Préférence	0,25	1,60	0,25	0,25	1,40	2,53	2,11	685,80	1,17	1,26	1,80	
- S: Gaussien	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	
Statistiques												
Minimum	1,00	1,00	1,00	10,00	2,00	1,00	1,00	30,00	2,00	2,00	1,00	
Maximum	4,00	3,00	36500,00	36500,00	4,00	4,00	4,00	1300,00	4,00	4,00	4,00	
Moyenne	2,53	2,50	2865,08	3379,55	3,27	2,80	2,27	396,00	3,53	3,60	3,40	
Ecart-type	0,81	0,76	9709,98	10474,04	0,68	1,22	0,85	335,83	0,59	0,61	0,88	
Evaluations												
abattage	<input type="checkbox"/>	4,00	n/d	n/d	n/d	4,00	4,00	2,00	1300,00	4,00	3,00	1,00
asainissement	<input type="checkbox"/>	3,00	n/d	30,00	n/d	4,00	4,00	2,00	350,00	3,50	3,00	2,00
injection emamec...	<input checked="" type="checkbox"/>	3,00	3,00	365,00	365,00	3,00	4,00	3,00	170,00	3,00	3,00	3,00
Beauveria	<input checked="" type="checkbox"/>	3,00	3,00	30,00	30,00	3,00	4,00	2,00	460,00	3,50	4,00	4,00
steirernema	<input checked="" type="checkbox"/>	3,00	3,00	20,00	10,00	4,00	4,00	2,00	400,00	4,00	4,00	4,00
piégeage de masse	<input checked="" type="checkbox"/>	3,00	3,00	60,00	60,00	4,00	4,00	2,00	280,00	4,00	4,00	3,00
attract and kill	<input checked="" type="checkbox"/>	3,00	3,00	60,00	30,00	3,00	3,00	4,00	30,00	4,00	4,00	4,00
attract and infect	<input checked="" type="checkbox"/>	2,00	2,00	30,00	30,00	3,00	3,00	2,00	150,00	4,00	4,00	4,00
douche d'imidac...	<input checked="" type="checkbox"/>	3,00	3,00	30,00	30,00	2,00	3,00	2,00	560,00	2,00	2,00	4,00
injection d'imada...	<input checked="" type="checkbox"/>	2,00	2,00	30,00	30,00	2,00	3,00	2,00	260,00	3,00	3,00	3,00
autocide	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00	1,00	30,00	30,00	4,00	1,00	2,00	n/d	4,00	4,00	4,00
microondage	<input type="checkbox"/>	2,00	n/d	1,00	n/d	4,00	1,00	1,00	n/d	4,00	4,00	3,00
autres agents bi...	<input checked="" type="checkbox"/>	1,00	1,00	60,00	60,00	3,00	1,00	1,00	n/d	3,00	4,00	4,00
protéine de fusion	<input checked="" type="checkbox"/>	2,00	3,00	n/d	n/d	3,00	1,00	3,00	n/d	3,00	4,00	4,00
palmyers tolérants	<input checked="" type="checkbox"/>	3,00	3,00	36500,00	36500,00	3,00	2,00	4,00	n/d	4,00	4,00	4,00

Figure 12 : Tableau présentant les fonctions de préférence, les paramètres statistiques et la matrice des valeurs (notes ou valeurs réelles) associées à chaque méthode de lutte pour chaque critère pour l'étude comparative des méthodes de lutte avec PROMETHEE.

Les relations entre les différents critères et leur contribution au classement final des méthodes de lutte sont illustrées grâce à l'analyse visuelle GAIA (Figure 13). La qualité de la représentation graphique des critères est de 56.4 % et jugée satisfaisante. La longueur des axes des critères est proportionnelle au caractère discriminant du critère considéré. L'axe de décision (trait épais rouge) est une représentation de la pondération des critères. L'orientation de l'axe de décision indique quels sont les critères en accord avec le classement PROMETHEE. Dans le cas présent, l'axe de décision est long et proches des axes « rémanence de l'effet », « praticité », « magnitude de l'efficacité » et « opérationalité ». Ces axes expliquent donc majoritairement le classement.

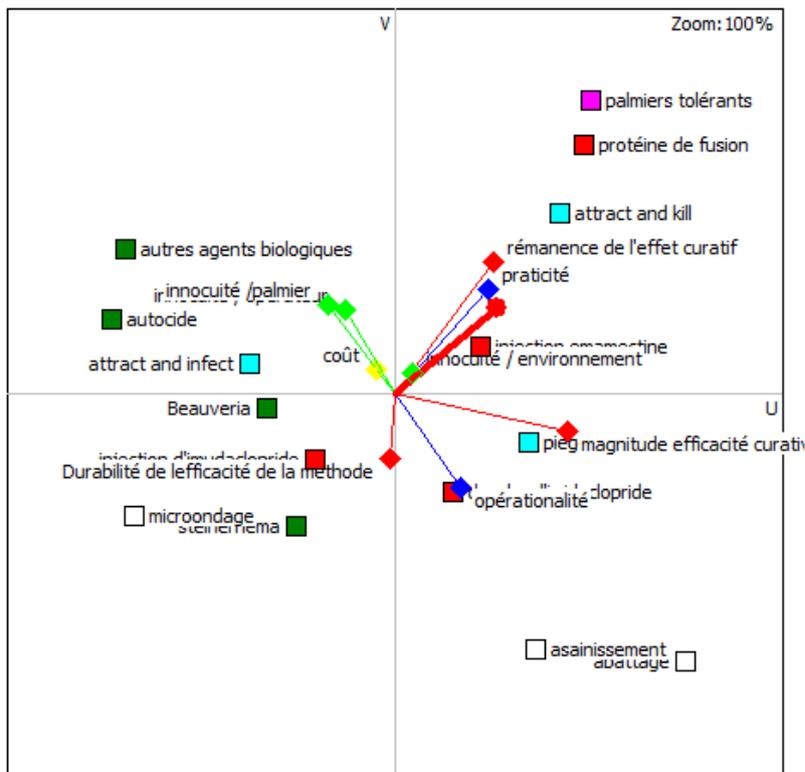
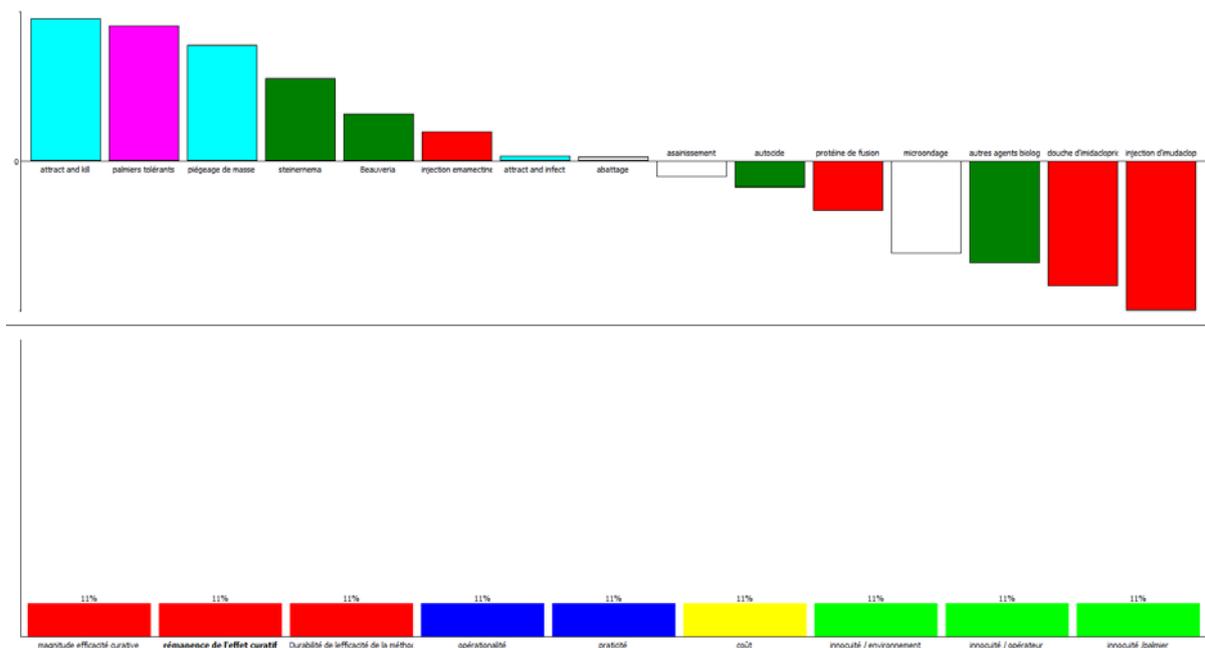


Figure 13 : Analyse visuelle GAIA de l'analyse multicritère des méthodes de lutte.

Analyse de la sensibilité via les *walking weight*

Les *walking weight* constituent un moyen d'illustrer de manière simple le classement relatif des méthodes de lutte contre le CRP en fonction des critères choisis. Sans pondération des critères, la méthode la plus satisfaisante est la méthode « Attract-and-Kill ». Viennent ensuite l'utilisation de palmiers résistants, le piégeage de masse, l'utilisation de nématodes, l'application de *B. bassiana*, et l'injection de benzoate d'émeamectine. Avec des scores proches de zéro ou négatifs, viennent ensuite la méthode « Attract-and-Infect », l'abattage des palmiers infestés et morts, l'assainissement des palmiers infestés, la lutte autocide, l'utilisation de protéines de fusion, le micro-ondage des têtes de palmier, les autres moyens de luttés biologiques, et les deux utilisations de l'imidaclopride (Figure 14).

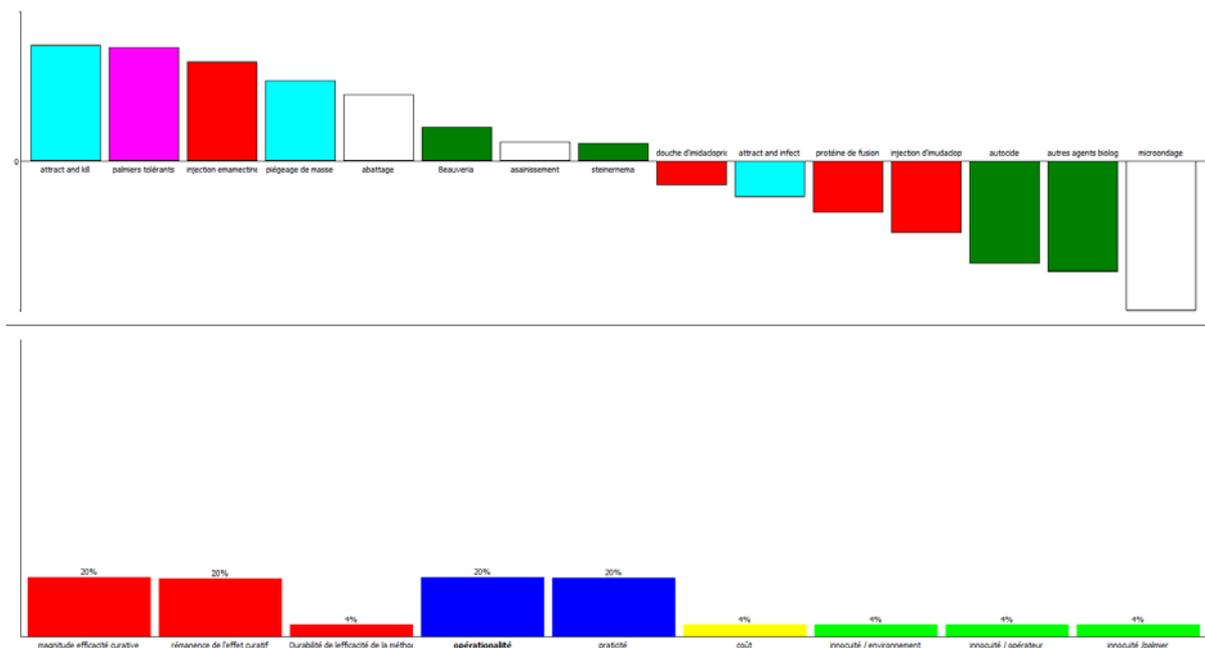


Cartouche du haut (méthodes de lutte listées de gauche à droite) : attract and kill, palmiers tolérants, piégeage de masse, Steinernema, Beauveria, injection émamectine, attract and infect, abattage, assainissement, autocide, protéine de fusion, microondage, autres agents biologiques, douche d'imidaclopride, injection d'imudadop.

Cartouche du bas (critères listés de gauche à droite) : magnitude efficacité curative, rémanence de l'effet curatif, durabilité de l'efficacité de la méthode, opérationnalité, praticité, coût, innocuité/environnement, innocuité/opérateur, innocuité palmier.

Figure 14 : Classement des méthodes de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif égal est attribué à chaque critère (cartouche du bas).

L'analyse multicritère PROMETHEE permet de faire varier le poids relatif des critères en fonction des hypothèses de gestion de la lutte contre le CRP. Par exemple, le niveau d'efficacité des méthodes peut être surpondéré par rapport à leur impact (Figure 15). Les critères « magnitude de l'efficacité », « rémanence de l'efficacité », « opérationnalité » et « praticité » ont ainsi été favorisés en leur associant un poids respectif de 20% (contre 11% précédemment) par rapport aux critères d'impact (« innocuité », « durabilité de l'efficacité » et « coût »), ramenés à seulement 4%.

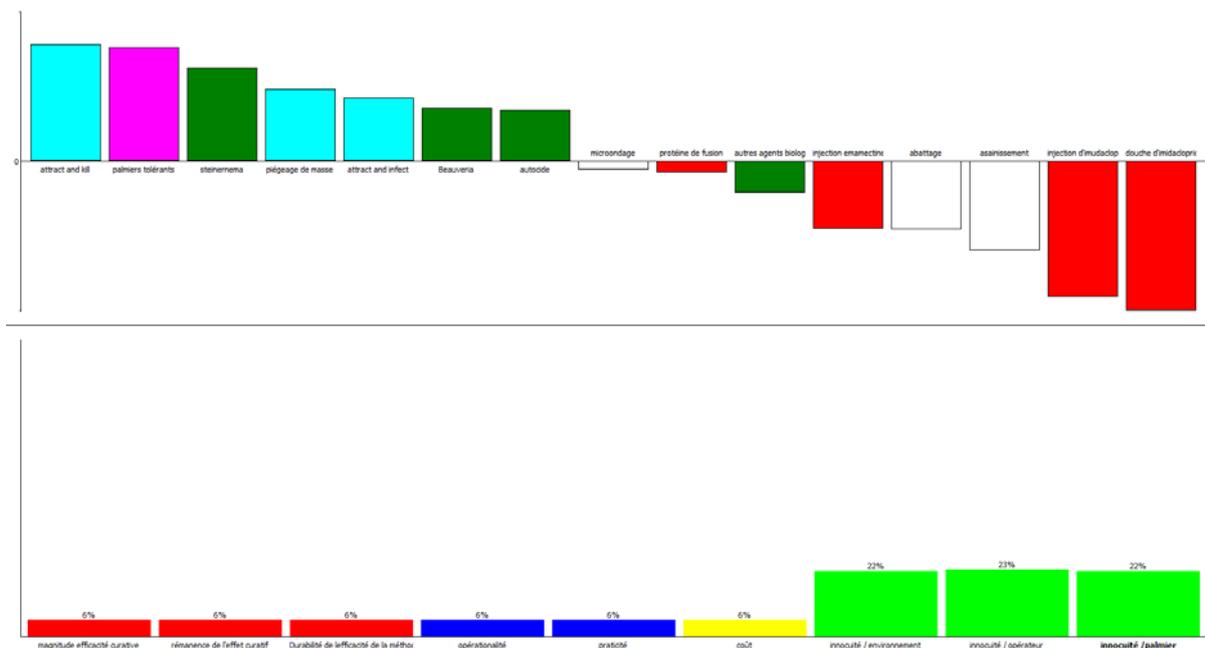


Cartouche du haut (méthodes de lutte listées de gauche à droite) : attract and kill, palmiers tolérants, injection émanectine, piégeage de masse, abattage, Beauveria, assainissement, Steinernema, douche d'imidaclopride, attract and infect, protéine de fusion, injection d'imidaclopride, autocide, autres agents biologiques, microondage.

Cartouche du bas (critères listés de gauche à droite) : magnitude efficacité curative, rémanence de l'effet curatif, durabilité de l'efficacité de la méthode, opérationnalité, praticité, coût, innocuité/environnement, innocuité/opérateur, innocuité palmier.

Figure 15 : Classement des méthodes de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif est distribué de façon différentes entre les critères (20% pour les critères « magnitude de l'efficacité », « rémanence de l'efficacité », « opérationnalité » et « praticité », contre 4% aux critères d'impact « innocuité », « durabilité de l'efficacité » et « coût » ; cartouche du bas).

Avec une telle pondération l'injection de benzoate d'émanectine remonte de la dixième à la troisième position à un niveau proche de celle de la méthode « Attract-and-Kill » et de l'utilisation de palmiers résistants. Il est intéressant de remarquer que les deux méthodes de lutte qui se placent toujours en tête bien que l'« opérationnalité » fasse partie des paramètres dont le poids relatif a été augmenté. Les méthodes physiques (abattage et assainissement) remontent un peu malgré leur caractère exclusivement curatif, probablement à leur « opérationnalité » élevée.



Cartouche du haut (méthodes de lutte listées de gauche à droite) : attract and kill, palmiers tolérants, *Steinernema*, piégeage de masse, attract and infect, *Beauveria*, autocide, microondage, protéine de fusion, autres agents biologiques, injection émamectine, abattage, assainissement, injection d'imidaclopride, douche d'imidaclopride.

Cartouche du bas (critères listés de gauche à droite) : magnitude de l'efficacité curative, rémanence de l'effet curatif, durabilité de l'efficacité de la méthode, opérationnalité, praticité, coût, innocuité/environnement, innocuité/opérateur, innocuité palmier.

Figure 16 : Classement des méthodes de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif est distribué de façon différente entre les critères (20% aux critères d'impact collatéral « innocuité », contre 6% pour les autres critères « magnitude de l'efficacité », « rémanence de l'efficacité », « durabilité », « opérationnalité », « praticité » et « coût » ; cartouche du bas).

Lorsqu'a *contrario* on donne un poids relatif supérieur aux critères d'innocuité du traitement sur l'environnement, sur l'opérateur et sur les palmiers eux-mêmes, on constate que les méthodes génétiques (utilisation de palmiers résistants, en violet), biologiques (en vert) et de piégeage (en bleu) se positionnent en tête du classement (Figure 16). Parmi les méthodes de lutte biologique, l'utilisation de nématodes se démarque des autres méthodes, et notamment de l'utilisation de *B. bassiana* (probablement à cause de sa spécificité plus marquée pour le CRP et donc sa totale innocuité sur les autres insectes). Elle se démarque également des méthodes faisant appel à d'autres agents biologiques et de la lutte autocide, probablement parce que ces méthodes sont actuellement non-opérationnelles.

Un résultat intéressant est que les deux méthodes en tête lorsque le critère d'efficacité est surpondéré (« Attract-and-Kill » et utilisation de palmiers résistants) restent également en tête lorsque les critères d'innocuité sont surpondérés. Ces deux méthodes de lutte semblent donc avoir un potentiel intéressant bien que n'étant pas encore (totalement) opérationnelle sur le terrain. Leur développement nécessiterait d'être soutenu et leur mise à la disposition des gestionnaires de la santé des palmiers nettement accélérée. Les méthodes physiques (abattage et assainissement) sont toujours en retrait quelle que soit la pondération, probablement à cause de leur caractère exclusivement curatif ; leur intérêt reste toutefois majeur en association à des méthodes à caractère préventif.

4 Identification et analyse des stratégies de lutte pertinentes contre le CRP

4.1 Conception des stratégies

4.1.1. Principaux types de stratégies

Quatre principaux types de stratégies – au sens « combinaison de méthodes de lutte » – ont été définis en se basant sur la dichotomie « nature de la stratégie » (curative ou préventive) et « effectif de palmiers ciblés par la méthode » (totalité des palmiers concernés, sains ou infestés, ou seulement une sélection d'entre eux). Dans tous les cas le choix a été fait de considérer le palmier en tant qu'individu : une stratégie curative vise donc éliminer les CRP présent dans un palmier infesté, et une stratégie préventive à éviter qu'un palmier bien identifié ne soit infesté.

Tableau 4 : Principaux types de stratégies.

	Préventif	Curatif
Tous les palmiers	1	3
Sélection de palmiers (1)	2	4

(1) individus d'intérêt patrimonial bien identifiés ou échantillon non ciblé (aléatoire, variable chaque année et/ou correspondant simplement aux déclarations, par définition non exhaustives).

En zone 1 « méditerranéenne » seules les stratégies de type 1+3 apparaissent comme étant pertinentes dans une perspective d'éradication (quoique cette perspective soit irréaliste compte tenu de la prévalence du CRP). Dès lors que l'objectif n'est plus d'éradiquer mais de stabiliser de façon durable, puis éventuellement de diminuer les populations de CRP, les stratégies de type 2+3, 2+4 et 2, en plus de la stratégie 1+3, peuvent s'avérer pertinentes. Ces quatre stratégies ont donc été retenues et déclinées en différentes combinaisons de méthodes de lutte et évaluées. Les stratégies de type 1 et type 1+3 (irréalistes au regard du nombre de palmiers à traiter chaque année), type 3 et type 4 (relativement inefficaces sans autre mesure préventive car l'identification des palmiers infestés est postérieure à la libération de CRP susceptibles d'infester les palmiers voisins) n'ont pas été prises en considération.

En zone 2 « centre-atlantique », l'objectif d'éradiquer le CRP doit toujours être d'actualité. Seules les stratégies de type 1+3, éventuellement 2+3, sont donc pertinentes dans cette zone.

A noter qu'une surveillance de l'état sanitaire doit s'appliquer sur tous les palmiers pour les types de stratégie 1 et 3, et seulement sur une sélection de palmiers pour le type 2. Ces exigences de suivi doivent être intégrées dans l'évaluation de la faisabilité opérationnelle et du coût des différentes stratégies.

Au final, les stratégies retenues peuvent être classées en quatre types, en fonction de la démarche mise en œuvre :

- A. Curatif et préventif sur tous les palmiers (type 1+3) ;
- B. Curatif sur tous les palmiers infestés et préventif seulement sur une sélection de palmiers (échantillon non ciblé et/ou palmiers d'intérêt patrimonial) (type 2+3) ;
- C. Curatif et préventif seulement sur une sélection de palmiers (échantillon non ciblé / palmiers d'intérêt patrimonial) (type 2+4) ;
- D. Préventif seulement sur une sélection de palmiers d'intérêt patrimonial (type 2).

4.1.2. Méthodes de lutte constituant les stratégies

Une « stratégie » est définie comme la mise en œuvre d'une ou plusieurs des 14 « méthodes de luttés » combinées (Tableau 3). Le nombre de stratégies est donc théoriquement très élevé. Nous avons identifié 24 stratégies qui nous paraissent à la fois suffisamment différenciées et pertinentes pour être analysées (Tableau 5).

Ces 24 stratégies combinent 5 méthodes, les 9 autres ayant été considérées comme étant encore non opérationnelles (difficilement applicables dans l'état actuel des connaissances et des techniques disponibles, officiellement non-autorisées [cas du « Attract-and-Kill »], ou désormais interdites par la réglementation [cas de l'imidaclopride]).

Méthode curative retenue : seulement l'assainissement par curetage. La magnitude de l'efficacité curative des applications de *B. bassiana* et *Steinernema* (nématode Biorend N) n'étant pas suffisante ou avérée *in situ*, ces deux méthodes de lutte biologiques n'ont été proposées dans aucune stratégie curative. A noter que l'assainissement par curetage inclus des mesures d'accompagnement : traitement avec *Steinernema* ou un insecticide (le cas échéant une autre matière active que l'imidaclopride, désormais interdit) avant l'action physique *sensu stricto* (palmes coupées), suivi d'un traitement post-curetage avec un fongicide (mancozèbe) ; le fongicide chimique pourrait être remplacé par un produit biologique tel que le Spinosad s'il était homologué pour cet usage.

Méthodes préventives retenues : injection de benzoate d'émamectine, *B. bassiana* (souches 147 ou NPP111B005), *Steinernema* (nématode Biorend N), piégeage de masse. A noter que la méthode « Attract-and-Kill » n'a pas été retenue car encore non opérationnelle, même si prometteuse. Cette méthode pourrait toutefois remplacer ou compléter le piégeage de masse. Des études sont à conduire, étant donné l'absence de résultats d'expérimentation en contexte urbain.

Pour rappel, l'imidaclopride n'a été intégrée dans aucune stratégie, bien que son efficacité soit avérée, car la réglementation nationale et européenne interdit désormais l'usage des néonicotinoïdes.

L'abattage n'a pas été considéré comme une méthode curative *sensu stricto* car il conduit à l'élimination du palmier infesté. En pratique il est associé à l'ensemble des stratégies.

L'application seule de *Steinernema* n'a pas été considérée comme réaliste eu égard son coût (faible efficacité en été ; nécessitant 8 à 10 applications par an).

Pour chaque type de stratégie (voir plus haut) six combinaisons de traitements préventifs ont donc été retenues :

1. L'injection annuelle de benzoate d'émamectine ;
2. Le piégeage de masse ;
3. L'injection annuelle de benzoate d'émamectine combinée à un piégeage de masse ;
4. Des applications de *Beauveria* et de *Steinernema* combinées un piégeage de masse ;
5. Des applications de *Beauveria* et de *Steinernema* ;
6. Des applications de *Beauveria* combinées à un piégeage de masse.

Le tableau 5 contient des informations qui permettent de comparer le coût des différentes stratégies retenues, à l'échelle d'une communauté d'agglomération (CAVEM) située au cœur de zone infestée par le CRPLe tableau 5 contient des informations qui permettent de comparer le coût des différentes stratégies retenues, à l'échelle d'une communauté d'agglomération (CAVEM) située au cœur de zone infestée par le CRP.

Tableau 5 : Description des 24 stratégies évaluées et estimation de leur coût total annuel (exemple du territoire de la CAVEM).

Stratégies	Taux de couverture visé				Critères d'évaluation															
	Type de stratégies	Numéro de stratégie	assainissement par curetage (1)	injection de benzoate d'émamectine (2)	Beauveria bassiana (souches 147 et NPP1118005)	Steinernema (nématode Biorend N)	piégeage de masse	Coût (keuros/an) sur la zone CAVEM (1)	Coût (keuros/an) pour 1000 palmiers (2)	Magnitude de l'efficacité curative	Magnitude de l'efficacité préventive	Rémanence de l'effet du traitement curatif (jours)	Rémanence de l'effet du traitement préventif (jours)	Durabilité de l'efficacité de la méthode	Opérationnalité	Praticité	Innocuité pour l'environnement	Innocuité pour l'opérateur	Innocuité pour le palmier	
	Application (3)	cur.	prév.	prév.	prév.															
A (1+3) 1	1	1	1				2810		3	3	30	365	4	4	2.5	3	3	2		
A (1+3) 2	1	1		1			4515		3	3	30	60	4	4	2	3.5	3	2		
A (1+3) 3	1	1	1				7150		3	6	30	365	4	4	2.33	3	3	2		
A (1+3) 4	1			1	1	1	17845		3	9	30	60	4	4	2	3.5	3	2		
A (1+3) 5	1			1	1		13505		3	6	30	30	4	4	2	3.5	3	2		
A (1+3) 6	1			1		1	11645		3	6	30	60	4	4	2	3.5	3	2		
B (2+3) 7	1	0.1					439		3	3	30	365	4	4	2.5	3	3	2		
B (2+3) 8	1					0.1	609		3	3	30	60	4	4	2	3.5	3	2		
B (2+3) 9	1	0.1				0.1	873		3	6	30	365	4	4	2.33	3	3	2		
B (2+3) 10	1			0.1	0.1	0.1	1942		3	9	30	60	4	4	2	3.5	3	2		
B (2+3) 11	1			0.1	0.1		1508		3	6	30	30	4	4	2	3.5	3	2		
B (2+3) 12	1			0.1		0.1	1322		3	6	30	60	4	4	2	3.5	3	2		
C (2+4) 13	0.4	0.1					334		3	3	30	365	4	4	2.5	3	3	2		> analyse Prométhée C
C (2+4) 14	0.4					0.1	504		3	3	30	60	4	4	2	3.5	3	2		
C (2+4) 15	0.4	0.1				0.1	768		3	6	30	365	4	4	2.33	3	3	2		
C (2+4) 16	0.4			0.1	0.1	0.1	1837		3	9	30	60	4	4	2	3.5	3	2		
C (2+4) 17	0.4			0.1	0.1		1403		3	6	30	30	4	4	2	3.5	3	2		
C (2+4) 18	0.4	0.1		0.1		0.1	1217		3	6	30	60	4	4	2	3.5	3	2		
D (2) 19		0.1					264	170	0	3	0	365	3	4	3	3	3	3		> analyse Prométhée D
D (2) 20						0.1	434	280	0	3	0	60	4	4	2	4	4	3		
D (2) 21		0.1				0.1	698	450	0	6	0	365	4	4	2.5	3	3	3		
D (2) 22				0.1	0.1	0.1	1767	1140	0	9	0	60	4	4	2	4	4	3		
D (2) 23				0.1	0.1		1333	860	0	6	0	30	4	4	2	4	4	4		
D (2) 24				0.1		0.1	1147	740	0	6	0	60	4	4	2	4	4	3		

(1) hors coût d'abattage et d'élimination des déchets, en fonction du taux de couverture annuel visé (0.1, 0.4 ou 1), sous l'hypothèse de la présence de 500 palmiers infestés et 15500 palmiers sains (situation CAVEM 2016)

(2) avec pour objectif la protection préventive de 1000 palmiers patrimoniaux, sans autre action curative

(3) la distinction "curative" (cur.) vs "préventive" (prév.) est faite en considérant l'individu "palmier" (et non la population globale de CRP)

4.2 Analyse comparative multicritère des performances des stratégies, de lutte contre le charançon rouge du palmier, identifiées

Seuls deux types de stratégies ont été retenus pour réaliser une analyse multicritère avec PROMETHEE : les six stratégies de type D (2), en considérant qu'elles étaient appliquées à un lot de 1000 palmiers choisis pour leur intérêt patrimonial, et les six stratégies de type C (2+4) appliquées à 40% des palmiers infestés (en curatif) et 10% des palmiers sains (en préventif) d'une zone équivalente à celle de la CAVEM. Cette approche permet, pour chaque type de stratégie, de classer les six stratégies de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante. Elle ne permet pas de comparer entre elles les stratégies appartenant à des types différents (D et C). Le choix des taux de couverture annuels de 0,4 et 0,1 ont été fait : (i) en s'appuyant sur les sorties préliminaires d'un modèle théorique de dynamique des populations de CRP (élaboré en marge de cette expertise par un membre du GT) qui suggère que ces taux pourraient être compatibles avec l'objectif de stabilisation des populations de CRP et (ii) en prenant en compte les contraintes pratiques qui limitent la possibilité d'augmenter ces taux, en particulier à des échelles spatiales plus larges sur le littoral méditerranéen. Ce choix, s'il est évidemment discutable et résulte d'approximations, n'a que peu d'influence sur le classement des stratégies d'un même type (type C), voire aucune (type D). Il permet en revanche d'avoir une idée de l'ordre de grandeur des coûts de leur mise en œuvre.

4.2.1. Comparaison des six stratégies de type D appliquées à un lot de 1000 palmiers choisis pour leur intérêt patrimonial

Scénario1	Magnitude c...	Magnitude p...	Rémanence ...	Rémanence ...	Durabilité	Opérationnalité	Praticité	Coût	Innocuité/en...	Innocuité/O...	Innocuité/pa...
Unité	unit	unit	jour	jour	jour	unit	unit	euros	unit	unit	unit
Cluster/Groupe	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Préférences											
Min/Max	max	max	max	max	max	max	max	min	max	max	max
Poids	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Fn. de préférence	Forme en V	Forme en V	Forme en V	Forme en V	Forme en V	Forme en V	Forme en V	Linéaire	Forme en V	Forme en V	Forme en V
Seuils	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu	absolu
- Q: Indifférence	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	0,00	n/d	n/d	n/d
- P: Préférence	0,00	4,45	0,00	0,25	0,00	0,00	0,43	11381,62	0,52	0,00	0,00
- S: Gaussien	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
Statistiques											
Minimum	3,00	3,00	30,00	30,00	4,00	4,00	2,00	170,00	3,00	3,00	2,00
Maximum	3,00	9,00	30,00	365,00	4,00	4,00	2,50	1140,00	3,50	3,00	2,00
Moyenne	3,00	5,50	30,00	156,67	4,00	4,00	2,13	606,67	3,33	3,00	2,00
Ecart-type	0,00	2,06	0,00	147,70	0,00	0,00	0,20	338,71	0,24	0,00	0,00
Evaluations											
injection_enamec...	3,00	3,00	30,00	365,00	4,00	4,00	2,50	170,00	3,00	3,00	2,00
piégeage	3,00	3,00	30,00	60,00	4,00	4,00	2,00	280,00	3,50	3,00	2,00
emamectine + pi...	3,00	6,00	30,00	365,00	4,00	4,00	2,30	450,00	3,00	3,00	2,00
2 bios + piégeage	3,00	9,00	30,00	60,00	4,00	4,00	2,00	1140,00	3,50	3,00	2,00
2 bios	3,00	6,00	30,00	30,00	4,00	4,00	2,00	860,00	3,50	3,00	2,00
Beauveria + piég...	3,00	6,00	30,00	60,00	4,00	4,00	2,00	740,00	3,50	3,00	2,00

Figure 17 : Tableau présentant les fonctions de préférence, les paramètres statistiques et la matrice des valeurs (notes ou valeurs réelles) associées aux stratégies de lutte de type D pour chaque critère pour l'étude comparative avec PROMETHEE.

Les relations entre les différents critères et leur contribution au classement final des stratégies de lutte sont illustrées grâce à l'analyse visuelle GAIA (Figure 18). La qualité de la représentation graphique des critères (95,3 %) est jugée très satisfaisante. L'orientation de l'axe de décision (trait

épais rouge) indique quels sont les critères en accord avec le classement PROMETHEE. Dans le cas présent, l'axe de décision est proche des axes « rémanence de l'effet », « magnitude de l'efficacité » et « praticité », qui expliquent majoritairement le classement.

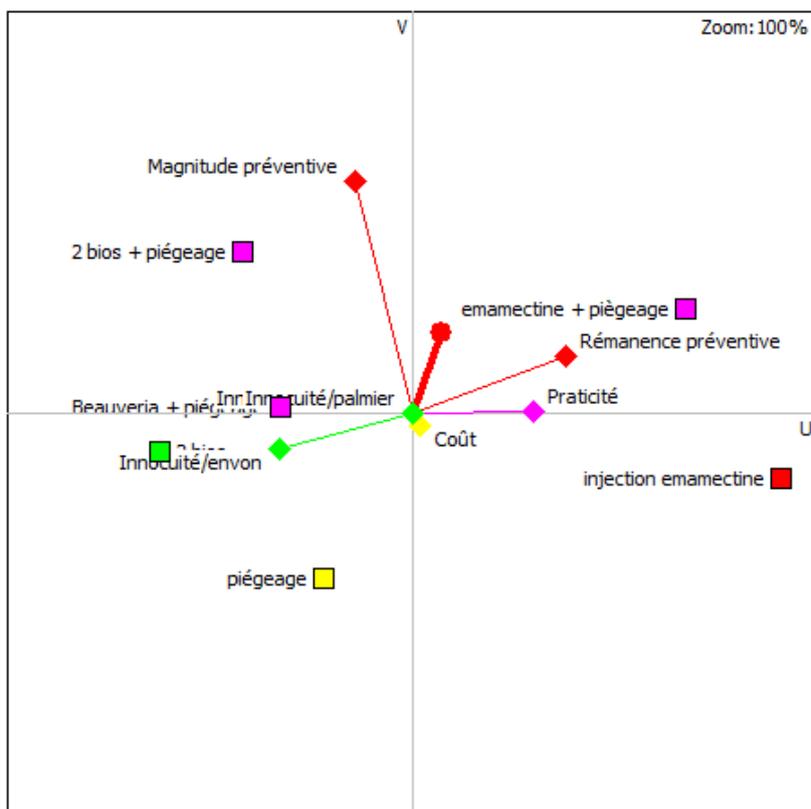


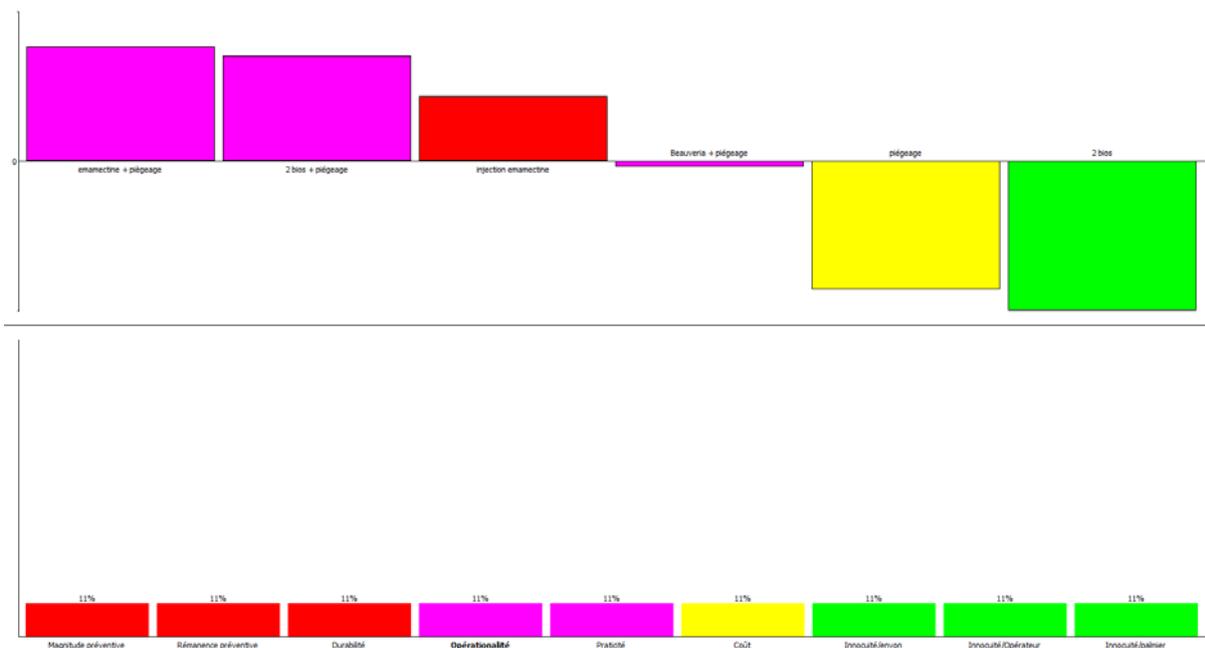
Figure 18 : Analyse visuelle GAIA de l'analyse multicritère des stratégies de lutte de type D.

Analyse de la sensibilité via les *walking weight*

Sans pondération des critères, la stratégie la plus satisfaisante est celle qui combine l'injection de benzoate d'émamectine au piègeage de masse. Viennent ensuite la stratégie combinant les deux traitements biologiques (*Beauveria* et *Stenernemia*) et celle qui consiste à n'injecter que du benzoate d'émamectine. Avec des scores négatifs, viennent ensuite l'application de *B. bassiana* combinée au piègeage de masse et les stratégies basées uniquement sur le piègeage de masse et sur la combinaison des deux méthodes de lutte biologique (Figure 19).

L'analyse multicritère PROMETHEE permet de faire varier le poids relatif des critères en fonction des hypothèses de gestion de la lutte contre le CRP. Le coût des stratégies peut ainsi être surpondéré par rapport aux autres critères (Figure 20) et se voir attribuer 50% du poids pris en compte pour l'analyse. Avec une telle pondération les stratégies impliquant l'injection de benzoate d'émamectine combinée ou non au piègeage de masse arrivent en tête, dépassant la combinaison des deux produits biologiques associés au piègeage de masse.

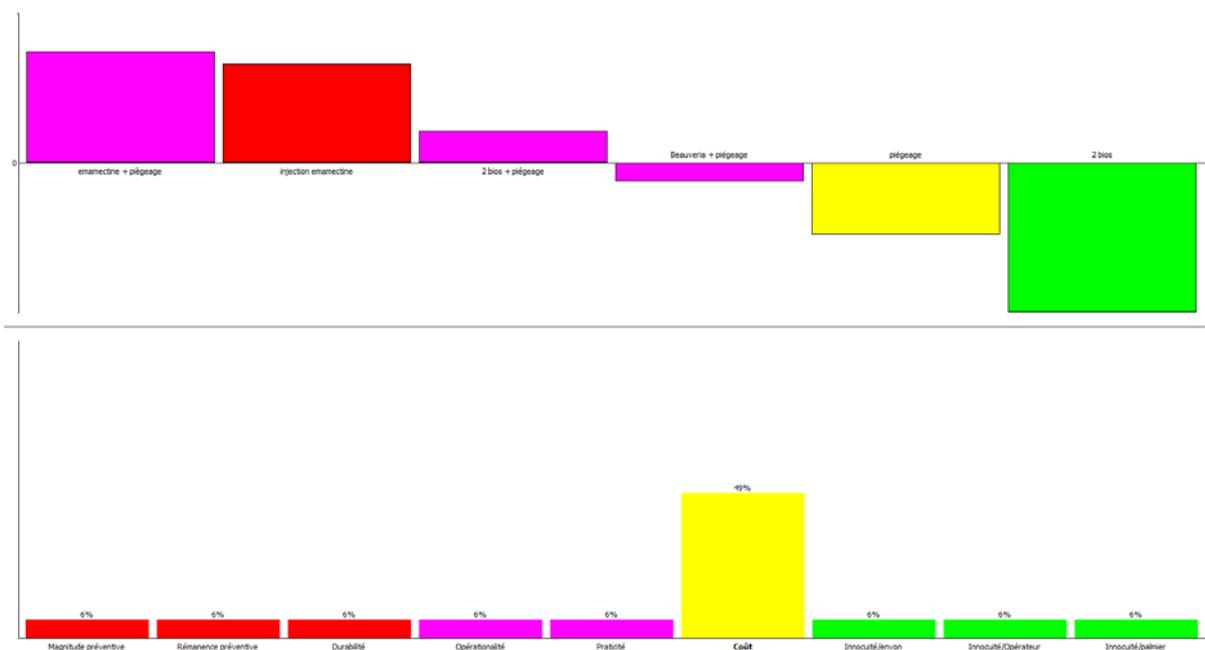
Dans le cas où le critère « innocuité pour l'environnement » est surpondéré par rapport aux autres (Figure 21) et se voit attribué 50% du poids pris en compte pour l'analyse, la combinaison des deux produits de lutte biologique associés au piègeage de masse arrive en tête tandis que les stratégies intégrant l'injection de benzoate d'émamectine sont déclassées.



Cartouche du haut (méthodes de lutte listées de gauche à droite) : émamectine + piégeage, 2 bios + piégeage, injection d'émamectine, *Beauveria* + piégeage, piégeage, 2 bios.

Cartouche du bas (critères listés de gauche à droite) : magnitude préventive, rémanence préventive, durabilité, opérationnalité, praticité, coût, innocuité/environnement, innocuité/opérateur, innocuité palmier.

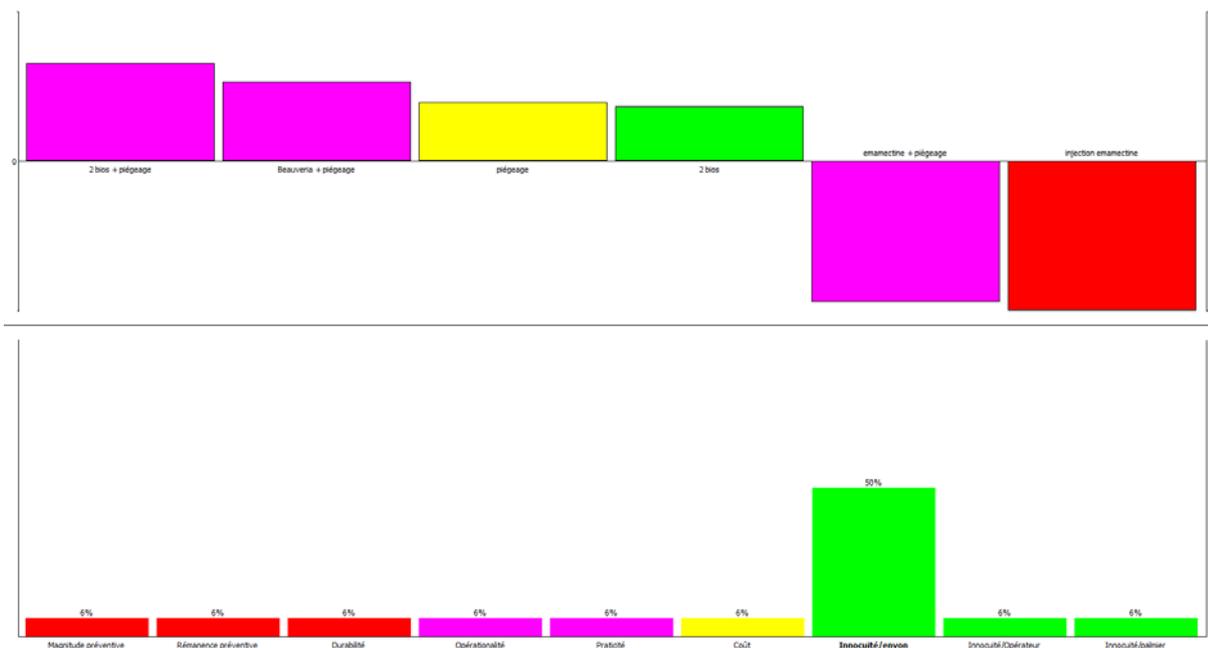
Figure 19 : Classement des stratégies de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif égal est attribué à chaque critère (cartouche du bas).



Cartouche du haut (méthodes de lutte listées de gauche à droite) : émamectine + piégeage, injection d'émamectine, 2 bios + piégeage, *Beauveria* + piégeage, piégeage, 2 bios.

Cartouche du bas (critères listés de gauche à droite) : magnitude préventive, rémanence préventive, durabilité, opérationnalité, praticité, coût, innocuité/environnement, innocuité/opérateur, innocuité palmier.

Figure 20 : Classement des stratégies de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif est distribué de façon différentes entre les critères (50% pour le critère « coût » contre 6% aux autres ; cartouche du bas).



Cartouche du haut (méthodes de lutte listées de gauche à droite) : 2 bios + piégeage, *Beauveria* + piégeage, piégeage, 2 bios, injection d'émamectine + piégeage, injection d'émamectine.

Cartouche du bas (critères listés de gauche à droite) : magnitude préventive, rémanence préventive, durabilité, opérationnalité, praticité, coût, innocuité/environnement, innocuité/opérateur, innocuité palmier.

Figure 21 : Classement des stratégies de lutte de la plus satisfaisante à la moins satisfaisante de gauche à droite (cartouche du haut) quand un poids relatif est distribué de façon différentes entre les critères (50% pour le critère « innocuité pour l'environnement » contre 6% aux autres ; cartouche du bas).

4.2.2. Comparaison des six stratégies de type C appliquées à 40% des palmiers infestés (curatif) et 10% des palmiers sains (préventif)

Le classement des stratégies de lutte de type C est identique à celui obtenue pour les stratégies de type D appliquées sur un échantillon choisi de palmier à protéger. Elles répondent de manière identique à la modification du poids des critères.

5 Conclusions du groupe de travail

La répartition des palmiers est très hétérogène à l'échelle du territoire national. L'occurrence du CRP, avec des populations localement bien établies et en croissance continue depuis une dizaine d'années sur le pourtour méditerranéen et des détections sporadiques dans les régions plus septentrionales ont conduit le GT à distinguer deux zones, correspondant chacune à deux dynamiques spatio-temporelles distinctes :

- une zone 1 dite « méditerranéenne »¹, dans laquelle l'analyse tend à montrer qu'il est quasiment impossible d'arriver à éradiquer le CRP, et où l'objectif réaliste le plus ambitieux serait de stabiliser la population de CRP et réduire son impact sur la mortalité des palmiers, tout en contrôlant aussi longtemps que possible son aire d'extension géographique avec maintien des efforts de piégeage et de détection visuelle dans les communes situées en zone tampon du périmètre de lutte tel qu'actuellement défini (zone tampon : 10 km autour de la zone de sécurité ; zone de sécurité : 100 m autour de la zone contaminée ; zone contaminée : 100 m autour du palmier ou du piège) ;
- une zone 2 dite « centre-atlantique » où le contrôle strict du CRP en vue de son éradication doit toujours être d'actualité.

Les experts de la FAO (FAO, 2017), sur le rapport desquels le GT s'est appuyé, indiquent que « les besoins en matière de lutte contre l'organisme nuisible sont directement corrélés à l'évolution des populations du CRP ».

Ce constat les conduit à envisager trois scénarios, ici réaffirmés, face à la multiplication du CRP :

- 1 - « Les moyens sont supérieurs aux besoins. Il s'agit du scénario gagnant : les populations de CRP régressent irréversiblement et rapidement. »
- 2 - « Les moyens demeurent plus au moins égaux aux besoins. Les populations d'organismes nuisibles restent stables. On peut considérer que le CRP est sous contrôle mais, chaque année un certain pourcentage de palmiers est perdu. »
- 3 - « Les moyens sont inférieurs aux besoins. Il s'agit du scénario perdant. Les populations de CRP croissent à un rythme exponentiel. Les moyens à mettre en œuvre pour lutter contre l'organisme nuisible croissent aussi à un rythme exponentiel et l'écart, entre les besoins et les moyens disponibles, se creuse inexorablement. C'est une course inutile et perdue d'avance (FAO, 2017). »

La situation de la zone 2 « centre-atlantique », du fait de la faible densité de palmiers et de la faible pression du CRP, relève en revanche du scénario 1. La stratégie proposée par la FAO au gestionnaire (instance nationale en charge de la protection des végétaux) peut localement aboutir à l'éradication du CRP, et donc au maintien d'une partie du territoire nationale exempte de ce ravageur encore soumis à des mesures de lutte obligatoire.

La stratégie proposée s'appuie sur :

¹La zone méditerranéenne prise en considération par le GT est limitée au territoire national

- des mesures réglementaires pour l'importation de plants de palmiers en provenance de pays tiers (intra-UE et hors-UE), éventuellement complétées par des mesures de quarantaine végétale, et pour la circulation des palmiers de la zone 1 « méditerranéenne » vers les régions de la zone 2 « centre-atlantique » ;
- une surveillance et un suivi phytosanitaire des palmiers avec des inspections visuelles et un piégeage des CRP intégrant un Système d'Information Géographique (SIG) permettant de planifier et coordonner efficacement toutes les actions (inspection, traitement, piégeage, abattage des palmiers) sur la base d'une description très précise et exhaustive de la réalité de terrain ;
- la réalisation et la mise à disposition d'une application mobile de suivi et d'une base de données en ligne de capitalisation des informations (adaptation possible de l'application développée aux Canaries).
- la mise en œuvre rapide des assainissements mécaniques allant jusqu'à l'élimination des palmiers gravement infestés et l'utilisation de méthodes de protection chimique ou biologique suffisamment efficaces ;
- la protection préventive des palmiers autour des foyers émergents ;
- la sollicitation des collectivités territoriales et de leur service des espaces verts, des professionnels du secteur horticole (pépinières et jardinerie) pour la surveillance, la communication et la vulgarisation.

La situation dans la zone 1 « méditerranéenne », compte tenu de l'analyse qui a été faite par le GT de la dynamique du CRP depuis son premier signalement en 2006, relève du scénario 3.

Au terme de cette expertise, le GT tient à rappeler que l'évaluation de l'efficacité des différentes méthodes de lutte repose sur des données provenant d'études scientifiques ou des sociétés commercialisant des produits phytopharmaceutiques qui documentent généralement l'efficacité potentielle, et beaucoup plus rarement sur des données épidémiologiques issues de dispositifs expérimentaux de terrain. Des incertitudes élevées demeurent donc, quant à l'évaluation du niveau d'efficacité de ces méthodes.

Pour cette raison, le GT estime que la promotion, par des sociétés, de certaines méthodes de lutte auprès de collectivités, voire de particuliers, suscitent des espoirs qui pourraient s'avérer partiellement infondés, voire préjudiciables à leur engagement durable dans une lutte collective, à défaut de retour d'expérience sur le terrain validé de façon rigoureuse. Dans ce contexte le GT tient à saluer l'action de certaines associations œuvrant à la protection des palmiers et à la diffusion de connaissances auprès des particuliers, tout en les mettant en garde contre la tentation de diffuser des solutions n'ayant pas réellement fait leurs preuves sur le terrain ou non autorisées.

Le GT a fait des recommandations sur le choix de stratégies à mettre en œuvre pour la zone 1, en fondant son analyse sur :

- une évaluation multicritère des différentes méthodes de lutte existantes ;
- le choix de taux de couverture réalistes (proportion de palmiers à traiter, en distinguant approches curatives et préventives) au regard de l'impact sur la dynamique du CRP qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, s'appuyant sur les sorties préliminaires d'un modèle théorique simple de dynamique des populations de CRP (élaboré en marge du traitement de cette saisine ; voir plus bas) ;
- la nature des stratégies retenues (curative vs. préventive) et des combinaisons de méthodes actuellement opérationnelles et autorisées ;

- une évaluation multicritère de ces stratégies, en prenant en compte le coût de leur mise en œuvre à l'échelle d'un « territoire » (exemple de la CAVEM) ou pour un nombre fixe de palmiers patrimoniaux à protéger.

Les résultats de cette analyse, avec toutes les approximations qu'il a été nécessaire de faire, confirment que, dans la zone 1 « méditerranéenne », les moyens à mettre en œuvre pour éradiquer le CRP sont colossaux. Les expériences des autres pays touchés par le CRP en compartiment urbain, notamment dans les Iles Canaries et en Israël (dont le GT a préalablement rappelé et analysé finement la situation), corroborent ces résultats. La progression du CRP dans la zone 1 « méditerranéenne », continue malgré les efforts déployés par plusieurs collectivités territoriales et les services de l'Etat, est également un indicateur de l'impossibilité d'éradiquer le CRP du territoire national.

Les stratégies de lutte retenues et évaluées ont été classées en quatre types, en fonction de la nature de l'approche :

- A - Curatif et préventif sur tous les palmiers ;
- B - Curatif sur tous les palmiers infestés et préventif seulement sur une sélection de palmiers (échantillon non ciblé et/ou palmiers d'intérêt patrimonial) ;
- C - Curatif et préventif seulement sur une sélection de palmiers (échantillon non ciblé et/ou palmiers d'intérêt patrimonial) ;
- D - Préventif seulement sur une sélection de palmiers d'intérêt patrimonial.

Pour chaque type de stratégie six combinaisons de traitements préventifs ont été considérés :

- 1 - Une injection annuelle de benzoate d'émamectine ;
- 2 - Un piégeage de masse ;
- 3 - Une injection annuelle de benzoate d'émamectine combiné à un piégeage de masse ;
- 4 - Des applications de *Beauveria bassiana* (souches 203, 147 ou 111), de *Steinernema* (nématode Biorend N) et un piégeage de masse ;
- 5 - Des applications de *Beauveria* et de *Steinernema* ;
- 6 - Des applications de *Beauveria* et un piégeage de masse.

L'abattage n'a pas été considéré comme une méthode curative *sensu stricto* car il conduit à l'élimination du palmier infesté et qu'en pratique il doit de toute manière être associé à l'ensemble des stratégies évaluées.

Le traitement des palmiers à l'imidaclopride n'a été retenu dans aucune stratégie (bien que son efficacité soit avérée) compte tenu de l'entrée en vigueur de la nouvelle réglementation nationale relative aux néonicotinoïdes qui interdit leur usage depuis le 1^{er} septembre 2018 (article L253-8-II. du code rural et de la pêche maritime) ainsi que du règlement européen 2018-783 qui restreint l'utilisation des produits aux seuls usages sous serres.

Le nombre d'alternatives chimiques à l'imidaclopride autorisées est restreint : seuls trois produits phytopharmaceutiques disposent bénéficient actuellement d'une autorisation de mise sur le marché. En conséquence, le GT suggère d'encourager la recherche et l'expérimentation de nouvelles méthodes de lutte (chimiques de synthèse ou biologiques) et d'envisager la possibilité d'utiliser des substances actives bénéficiant d'une dérogation (« dérogation 120 jours » ou « usage mineur » dans le cadre d'un arrêté de lutte obligatoire).

Le GT estime par ailleurs que la situation des pépinières spécialisées dans la production et la commercialisation de palmiers dans la zone contaminée mérite une attention toute particulière. Si l'action de ces acteurs professionnels s'avère cruciale dans la lutte contre le CRP, ces derniers se

trouvent actuellement dans une impasse (par exemple, impossibilité de traiter les palmiers de petites tailles avec 100% d'efficacité) qui nécessite l'attention des pouvoirs publics.

L'analyse du GT a permis d'identifier les stratégies les plus satisfaisantes (meilleurs rapport coût/effets), c'est-à-dire maximisant les chances d'arriver à une stabilisation des populations de CRP avant la disparition de la majorité des palmiers.

Pour estimer les moyens techniques et les coûts associés (et donc la capacité des collectivités à adhérer à un plan de lutte exhaustif de grande ampleur), le GT s'est basé sur des taux de couverture distincts (proportion de palmiers à traiter, curativement et/ou préventivement) :

- 1 (totalité des palmiers à traiter ; scénario jugé irréaliste du point de vue de l'opérationnalité et du coût) ou 0,4 (40% des palmiers à traiter ; scénario jugé réaliste) pour les stratégies curatives ;
- 1 (totalité des palmiers à traiter ; scénario jugé irréaliste du point de vue de l'opérationnalité et du coût) ou 0,1 (10% des palmiers traités ; scénario jugé réaliste) pour les stratégies préventives. Le taux de couverture pris en compte par le GT dans le cadre d'un scénario de traitement préventif est plus faible car le nombre de palmiers sains est plus élevé que le nombre de palmiers attaqués par le CRP.

Le choix des taux de couverture 0,1 et 0,4, a permis de comparer des coûts associés à la mise en œuvre de deux types de stratégies et de différentes combinaisons de méthodes de lutte. Le GT rappelle que le coût de la main d'œuvre a été estimé pour chaque méthode de lutte de manière à ce que la comparaison des coûts de chaque stratégie soit aussi pertinente que possible.

Il convient de préciser que le modèle théorique de dynamique des populations auquel il est fait allusion plus haut, a été élaboré en marge du traitement de cette saisine. Il a constitué pour le GT un outil de réflexion mais ne peut en aucun cas être considéré comme un outil de simulation ou d'aide à la décision permettant de prévoir l'effet des stratégies sur la dynamique future du CRP. Il visait à pallier l'absence de jeu de données épidémiologiques centralisé et analysable. Le développement d'un tel modèle correspond à un travail de recherche complémentaire conséquent qui mériterait certainement d'être soutenu et poursuivi en dehors du cadre des travaux du CES Risques Biologiques pour la Santé des Végétaux, éventuellement dans le cadre des activités de la nouvelle plateforme d'épidémiosurveillance DGAL-Inra-Anses-Fredon France-Acta²-APCA³.

Un travail complémentaire de ce type permettrait d'approfondir la réflexion sur les dynamiques possibles de l'infestation en fonction des stratégies de lutte mises en œuvre. Cette perspective ne doit toutefois pas retarder les décisions en matière de gestion du CRP prises sur la base de ce rapport.

Lorsque le critère « coût » a été mis en avant dans l'analyse multicritère, les stratégies impliquant l'injection de benzoate d'émamectine combinée ou non au piégeage de masse sont ressorties comme étant les plus satisfaisantes.

Lorsque le critère « innocuité pour l'environnement » a été surpondéré, c'est en revanche la combinaison des deux produits de lutte biologique associés au piégeage de masse qui est arrivée en tête. La méthode « Attract-and-Kill » bien que n'étant pas encore (totalement) opérationnelle

² ACTA : fédération des 15 instituts techniques agricoles

³ APCA : Assemblée permanente des Chambres d'agriculture

sur le terrain est ressortie de cette analyse comme étant potentiellement très intéressante. Son développement nécessiterait d'être soutenu (recensement des sociétés ou instituts en capacité de proposer la méthode, finalisation des tests d'efficacité, expérimentations à l'échelle d'un territoire, procédure accélérée d'autorisation de mise sur le marché).

Au final, le GT estime que stabiliser les populations de CRP serait très coûteux et nécessiterait une action sur le long terme sur l'ensemble des communes du littoral méditerranéen, sans exception. Pour ce faire, les stratégies retenues par le gestionnaire pour protéger les palmiers devraient intégrer une combinaison de méthodes de lutte qui suivent les recommandations de la FAO.

Un objectif alternatif, pragmatique, pour le gestionnaire pourrait être de protéger des palmiers sélectionnés pour leur importance patrimoniale et de proposer des espèces végétales de remplacement pour les zones non protégées qui satisfassent les exigences socio-économiques des territoires concernés. Il convient dans le même temps de prendre des mesures qui limitent l'extension du CRP dans les secteurs où il n'est pas encore présent. Il serait toujours possible pour des particuliers de protéger, à une échelle réduite, un ou plusieurs palmiers en mettant en œuvre les stratégies identifiées comme les plus satisfaisantes dans cette analyse.

Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail : 01/10/2018

Date de validation du rapport d'expertise collective par le CES : 03/10/2018

6 Bibliographie

6.1 Publications

- Abbas M. S. T., Saleh M. M. E. & Akil A. M. 2001. Laboratory and field evaluation of the pathogenicity of entomopathogenic nematodes to the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) (Col. Curculionidae). *Journal of Pest Science* 74: 167-168.
- Abdullah F. F. & Al-Khatri S. A. 2005. The effect of ethyl acetate on the captures of males and females of the Red Palm Weevil. *Egyptian Journal of Agricultural Research* 83: 169-177.
- 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 20^e Congrès International d'entomologie, Florence, Italie, p. 541.
- Anonyme, 2007a. Phyto Régions. Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Le charançon rouge du palmier a mis le rostre en France. *Phytoma - La Défense des Végétaux* n° 607, p 4.
- Anonyme, 2007b. Phyto Régions. Languedoc-Roussillon. Palmiers et charançon rouge. *Phytoma - La Défense des Végétaux* n° 610, p 3.
- Anonyme, 2016. Un insecte s'attaque aux palmiers. Ville de Louviers, 12 décembre 2016. <http://www.ville-louviers.fr/actualites/a-la-une/12-12-2016-un-insecte-sattaque-aux-palmiers>
- Anses, 2012a. Avis de l'Anses relatif à une demande d'appui scientifique et technique sur un dispositif expérimental d'utilisation de l'injection dans le cadre de la lutte contre le charançon rouge du palmier, du 3 avril 2012. Saisine n° 2012-SA-0045.
- Anses, 2012b. Avis de l'Anses relatif à une demande d'appui scientifique et technique sur l'utilisation d'un insecticide à base de *Beauveria bassiana* (OSTRINIL) dans la lutte contre le charançon rouge du palmier, du 22 juin 2012. Saisine n° 2012-SA-0132.
- Anses, 2014a. Avis de l'Anses relatif à une demande d'autorisation de mise sur le marché de la préparation REVIVE, à base d'émamectine benzoate de la société SYNGENTA AGRO SAS du 29 janvier 2014. Dossier n° 2012 – 2779- REVIVE.
- Anses, 2016. Avis de l'Anses relatif "aux traitements à mettre en œuvre dans le cadre de la lutte contre le charançon rouge du palmier" du 26 février 2016. Saisine n° 2015-SA-0198.
- Anses, 2017a. Conclusions de l'évaluation relatives à la demande de permis d'expérimentation, de la préparation phytopharmaceutique ARY-0711b-01 du 18 janvier 2017. Dossier n° 2015 – 4703 – ARY-0711b-01.
- Anses, 2017b. Avis de l'Anses relatif à l'évaluation des démarches collectives engagées contre le charançon rouge du palmier par la Communauté d'Agglomération Var-Esterel-Méditerranée (CAVEM), du 18 octobre 2017. Saisine n° 2017-SA-0035.
- Atwa A. A. & Hegazi E. M. 2014. Comparative susceptibilities of different life stages of the red palm weevil (Coleoptera: Curculionidae) treated by entomopathogenic nematodes. *Journal of Economic Entomology* 107: 1339-1347.
- Barranco P., De La Pena J.A., Martin M.M. & Cabello T. 2002. Rango de hospedantes de *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) y diametro de la palmera hospedante (Coleoptera : Curculionidae). *Boletín de Sanidad Vegetal de Plagas* 26: 73-78.

- Besse S., Crabos L. & Panchaud K. 2013. Colloque méditerranéen sur les ravageurs des palmiers, 16, 17 et 18 janvier 2013, Nice, France : 285-296.
- Besse S. & Panchaud K. 2018. Combattre le charançon rouge du palmier en milieu urbain. *Phytoma - La santé des végétaux*. Juin-Juillet 2018 n°715.
- Castellana R. & Trentesaux E. 2017. 3^{ème} rencontres sur la lutte intégrée contre les ravageurs. Compte rendu officiel. Principauté de Monaco. 15 décembre 2017. 1 p.
- Chauveau L. 2015. Les charançons attaquent et les palmiers français sont en danger. Sciences et Avenir. Nature et Environnement. 22 avril 2015. https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/les-charancons-attaquent-et-les-palmiers-francais-sont-en-danger_15878
- Dembilio Ó., Quesada-Moraga E., Santiago-Álvarez C. & Jacas J. A. 2010a. Potential of an indigenous strain of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* as a biological agent against the red palm weevil. *Journal of Invertebrate Pathology* 104, 214-221.
- Dembilio O., Llácer E., Martínez de Altube M. M. & Jacas J. A. 2010b. Field efficacy of imidacloprid and *Steinernema carpocapsae* in a chitosan formulation against the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in *Phoenix canariensis*. *Pest Management Science* 66 : 365-370.
- Dembilio O. & Jacas J.A. 2013. Biological control of *Rhynchophorus ferrugineus*. Actes du Colloque méditerranéen sur les ravageurs des palmiers, 16, 17 et janvier 2013, Nice, France: 101-106.
- Dembilio Ó., Moya P., Vacas S., Ortega-García L., Enrique Quesada-Moraga E., Jaques J. A. & Navarro-Llopis V. 2018. Development of an attract-and-infect system to control *Rhynchophorus ferrugineus* with the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Pest Management Science*, online version DOI 10.1002/ps.4888.
- DRAAF et Chambre d'Agriculture de Normandie, 2016. Actu'Ecophyto n°8, décembre 2016. http://draaf.normandie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/20161222-ActuEcophyto_8_Decembre_2016_vf_cle017ea5.pdf
- DRAAF Occitanie, 2015. Charançon rouge du palmier. Situation et lutte en région LR-MP, juillet 2015. <http://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/Charancon-rouge-du-palmier,273>
- DRAAF Occitanie, 2017. Charançon rouge du palmier. Situation et lutte en Occitanie, janvier 2017. <http://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/Charancon-rouge-du-palmier,2429>
- DRAAF PACA, 2017. Charançon rouge du palmier. Lutte en région PACA. http://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/CRP-Bilan_PACA_01-01-2017_cle05ff17.pdf [non accessible en ligne]
- DRAAF PACA, 2018. Charançon rouge du palmier. Lutte en région PACA. <http://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/Le-Charancon-Rouge-du-Palmier-en>
- Dubovskiy IM, Whitten MMA, Yaroslavtseva ON, Greig C, Kryukov VY, Grizanova EV, Mukherjee K, Vilcinskis A, Glupov VV, Butt TM. 2013. Can insects develop resistance to Insect pathogenic fungi? *PLoS ONE* 8(4): e60248.
- Ehlers R.U. 2003. Entomopathogenic nematodes in the European biocontrol market. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 68: 3-16.
- El-Mergawy R. A. A. M., Faure N., Nasr M. I., Avand-Faghieh A., Rochat D. & Silvain J.-F. Mitochondrial genetic variation and invasion history of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae), in Middle-East and Mediterranean Basin. *International Journal of Agriculture and Biology* 13: 631-637.
- El-Minshawy A. M., Hendi R. A. & Gadelhak G. G. 2005. Viability of stored polyhedrosis virus of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae). *FAO/IAEA International Conference on Area-Wide Control of Insect Pests: Integrating the sterile Insect and Related Nuclear and Other Techniques*. Vienna, Austria: 241-242.

- 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. *Journal of Economic Entomology* 99, 1550-1564.
- Fajardo M. 2017 The Canary Islands success story in eradicating red palm weevil. FAO Scientific consultation and high-level meeting on Red Palm Weevil management, 29-31 Mars, Rome, Italie. Diaporama, 51 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. *International Journal of Tropical Insect Science* 26 (3): 135-154.
- Faleiro J. R., El-Saad M. A. & Al-Abbad A. H. 2011. Pheromone trap density to mass trap *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae/Rhynchophoridae/Dryophthoridae) in date plantations of Saudi Arabia. *International Journal of Tropical Insect Science* 31: 75-77.
- FAO, 2017. Framework strategy for eradication of Red Palm Weevil. Scientific consultation and high –level meeting on Red Palm Weevil Management, Rome, 29-31 March 2017.
- FAO - CIHEAM, 2017. Proposition de stratégie multidisciplinaire et multirégionale de gestion du charançon rouge du palmier. Rapport collectif établi à l'issue de la consultation scientifique et réunion de haut niveau sur la gestion du charançon rouge du palmier, Rome, Italie, 29-31 mars 2017. 37 pages. <<http://www.fao.org/3/a-ms665f.pdf> consulté le 7 décembre 2017>.
- Farazmand H. 2002. Investigations on the reasons of food preference of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. *Applied Entomology and Phytopathology* 70: 11-12.
- Fitches EC, Edwards M. G., Mee C., Grishin E., Gatehouse A. M. R., Edwards J. P. & Gatehouse J. A., 2004. Fusion proteins containing insect-specific toxins as pest control agents: snowdrop lectin delivers fused insecticidal spider venom toxin to insect haemolymph following oral ingestion. *Journal of Insect Physiology*, 50: 61-71.
- Fitches E. C., Bell H. A., Powell M. E., Back E., Sargiotti C., Weaver R. J. & Gatehouse J. A. 2010. Insecticidal activity of scorpion toxin (ButalT) and snowdrop lectin (GNA) containing fusion proteins towards pest species of different orders. *Pest Management Science*, 66: 74-83.
- Forst S. & Clarke D. 2002. Bacteria-nematode symbiosis. In: Gaugler R. (ed) Entomopathogenic nematology. CABI, London, pp 57-77.
- Francardi V., Benvenuti C., Barzanti G. P. & Roversi P. F. 2013. Autocontamination trap with entomopathogenic fungi: a possible tstrategy in the control of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae). *Redia* 96, 57-67.
- FREDON, 2010. Rynch'info. La lettre d'information ravageurs du palmier n°1. <http://www.fredon-corse.com/standalone/1/20A7hXA78oLDg5sf3ZASx0pr.pdf>
- FREDON, 2015. Reconnaître et surveiller les parasites règlementés en Bretagne. Lutte contre le charançon rouge sur palmier. Plaquette éditée par la FREDON Bretagne. <http://static.reseaudesvilles.fr/cities/114/documents/6ervrcfw0cqiiw3.pdf>
- FREDON, 2016. Rynch'info. La lettre d'information ravageurs du palmier n°16.
- FREDON, 2017. Alerte charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus*. Avis aux détenteurs de palmiers : merci de les déclarer en mairie. Plaquette éditée par la FREDON Haute-Normandie.
- Giblin-Davis R. M., Oehlschlager A. C., Perez A., Gries G., Gries R., Weissling T. J., Chinchilla C. M., Pena J. E., Hallett R. H., Pierce H. D. Jr, & Gonzalez L. M. 1996. Chemical and behavioral ecology of palm weevils (Curculionidae: Rhynchophorinae). *The Florida Entomologist* 79: 153-167.
- Giblin-Davis R. M., Faleiro J. R., Jacas J. A., Peña J. E. & Vidyasagar P. S. P. V. 2013. Biology and management overview of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. In: Potential Invasive Pests of Agricultural Crops. J. E. Peña, ed. pp; 1-34. CABI Invasives Series, Vol. 3. CABI, Wallingford,

UK.

- Gopinadhan P. B., Mohandas N. & Nair K. P. V. 1990. Cytoplasmic polyhedrosis virus infecting red palm weevil of coconut. *Current Science* 59: 577-80.
- 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 Management Science* 67, 77–81.
- Güerri-Agulló B., Gómez-Vidal S., Asensio L., Barranco P. & Lopez-Llorca L. V. 2010. Infection of the Red Palm Weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*) by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*: A SEM Study. *Microscopy Research and Technique* 73: 714–725.
- Hajjar, M. J., Ajlan A. M. & Al-Ahmad M. H. 2015. New approach of *Beauveria bassiana* to control the Red Palm Weevil (Coleoptera: Curculionidae) by trapping technique. *Journal of Economic Entomology* 108: 425–432. DOI: 10.1093/jee/tou055
- 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 Journal of Pest management* 45: 231-237.
- Hamidi R., Schmidt-Buesser D., Couzi P., Lherminier B., Khfif K., Renou M., Avand-Faghih A. & Rochat D. 2013. Charançon rouge du palmier, déjouer les pièges du piégeage. *Phytoma - La Défense des Végétaux* 667 : 26-30.
- Jaques J. A., Riolo P., Audsley N., Barroso J. M., Dembilio O., Isodoro N., Luisa Minuz R., Nardi S., Navarro Llopis V., Beaudoin-Ollivier L. & Quesada Moraga E. 2017. Control measures against *Rhynchophorus ferrugineus* and *Paysandisia archon* p. 255-278. Handbook of Major Palm Pests Biology and Management. First Edition. Victoria Soroker and Stefano Colazza editors. Wiley & Sons, Ltd. Published 2017 by John Wiley & Sons, Ltd., Oxford, UK. 316 p.
- J.O.U.E., 2009. Directive 2009/128/CE du Parlement Européen et du Conseil du 21 octobre 2009 instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable. Article 3. L 309,74 ; <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0128&from=FR>.
- Khatib C. Y., Isotton A., Pasqualotto C. & Bernabei L. 2010. ECOPALM ring machine: Microwaves technology for the total disinfestations of the palm trees affected by the red palm weevil. ISHS Acta Horticulturae 882: IV International Date Palm Conference.
- Krishnakumar R. & Maheshwari P. 2004. Preliminary studies of gamma irradiation on the development of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Oliv.) *Insect Environment* 9: 175-177.
- Lacey L. A. & Georgis R. 2012. Entomopathogenic nematodes for the control of insect pests above and below ground with comments on commercial production. *Journal of Nematology* 44: 218-225.
- Llàcer E., Martinez J. & Jacas J.A. 2009. Evaluation of the efficacy of *Steinernema carpocapsae* in a chitosan formulation against the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*, in *Phoenix canariensis*. *BioControl* 54: 559-65.
- Llàcer E., Santiago-Alvarez C. & Jacas J.A. 2013. Could sterile males be used to vector a microbiological control agent? The case of *Rhynchophorus ferrugineus* and *Beauveria bassiana*. *Bulletin Entomological Research* 103: 241-250.
- Lucas P. 2007. Le concept de la protection intégrée des cultures. *Innovations Agronomiques* 1 : 15-21.
- Manachini B., Arizza V., Parrinello D. & Parrinello N. 2011. Hemocytes of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera : Curculionidae) and their response to *Saccharomyces cerevisiae* and *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Invertebrate Pathology* 106 (3):360-365.

- Manachini B., Schillaci D. & Arizza V. 2013. Biological responses of *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) to *Steinernema carpocapsae* (Nematoda : Steinernematidae). *Journal of Economic Entomology*, 106: 1582-1589.
- Martín R., González A., Barroso L., Morales, M., Hernandez C. D., Rodriguez X. & Y Fajardao M. 2013. Plan de surveillance, de lutte et d'éradication du charançon rouge dans les îles Canaries (Espagne). Actes du Colloque méditerranéen sur les ravageurs des palmiers, 16-18 janvier 2013, AFPP-Nice, Alfortville.
- Martinez de Altube M. M., Martinez Peña A. & Martinez de Altube A. 2013. Use of entomopathogenic nematodes in a chitosan formulation against *Rhynchophorus ferrugineus* in different palm species. Field assays and specific cases in a city and in a botanical garden. Actes du Colloque méditerranéen sur les ravageurs des palmiers, 16, 17 et 18 janvier 2013, France : 379-398.
- Massa R., Panariello G., Pinchera D., Schettino F., Caprio E., Griffo R. & Migliore M. D. 2017. Experimental and numerical evaluations on palm microwave heating for red palm weevil pest control. *Scientific Report* 7: 45299.
- 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. 2011. Antimicrobial activity of the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*. *Bulletin of Insectology* 64: 33-41.
- Mazza G., Francardi V., Simoni S., Benvenuti C., Cervo R., Falereiro J. R., Llacer E., Longo S., Nannelli R., Tarasco E. & Roversi P. F. 2014. An overview on the natural enemies of *Rhynchophorus* palm weevils, with focus on *R. ferrugineus*. *Biological Control* 77: 83-92.
- Meikle W. G., Mercadiera G., Holstb N., Nansenc C. & Girod V. 2008. Impact of a treatment of *Beauveria bassiana* (Deuteromycota: Hyphomycetes) on honeybee (*Apis mellifera*) colony health and on Varroa destructor mites (Acari: Varroidae). *Apidologie*, Springer Verlag, 2008, 39, pp.247-259.
- Monzer A. E. & El-Rahman R. A. 2003. Role of *Heterorhabditis indica* of decomposing palm tissues infested by *Rhynchophorus ferrugineus*. *Nematology* 5: 647-652.
- Myers J. H., Savoie A. & Van Randen E. 1998. Eradication and pest management. *Annual Review of Entomology* 43: 471- 491.
- Oehlschlager A. C., McDonald R. S., Chinchilla C. M. & Patschke S. N. 1995. Influence of a pheromone-based mass-trapping system on the distribution of *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) in oil palm. *Environmental Entomology* 24: 1005-1012.
- Oehlschlager A. C., Chinchilla C., Castillo G. & Gonzalez L. 2002. Control of red ring disease by mass trapping of *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist* 85: 507-513.
- OEPP, 2006. First record of *Rhynchophorus ferrugineus* in France. EPPO Reporting Service n°11-2006, article 2006/225. <https://gd.eppo.int/reporting/article-1305>
- OEPP, 2007. Details on the situation of *Rhynchophorus ferrugineus* in France in 2007. EPPO Reporting Service n°9-2007, article 2007/168. <https://gd.eppo.int/reporting/article-1201>
- OEPP, 2013. *Rhynchophorus ferrugineus* found for the first time in Bretagne region (FR). EPPO Reporting Service n°05-2013, article 2013/107. <https://gd.eppo.int/reporting/article-2569>
- Ollivier L. & Rochat D. 2004. Diagnosis and assessment of the Red Palm Weevil (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier) and date palm (*Phoenix dactylifera* L.) pest situation in Saudi Arabia and a proposal for collaboration. Cirad, Montpellier, Doc SIC_CP n°1691, 39 p.
- Ortega-García L., Tabone E., Beaudoin-Ollivier L., Ment D., Buradino M., Jaques J. A., Garrido-Jurado I., Dembilio O. & Quesada Moraga E. 2017. Natural enemies of *Rhynchophorus ferrugineus* and *Paysandisia archon* In Handbook of major palm pests Biology and management Soroker V. & Colazza S. Eds Wiley Blackwell, Oxford, Royaume-Uni, ISSN 9784449057451, pp. 171-186.
- Peri E., Rochat D., Belušič G., Ilić M., Soroker V., Barkan S., Guarino S., Lo Bue P. & Colazza S. 2017. *Rhynchophorus ferrugineus*: Behavior Ecology and communication In Handbook of major palm pests

- Biology and management Soroker V. & Colazza S. Eds Wiley Blackwell, Oxford, Royaume-Uni, ISSN 9784449057451, pp. 105-130.
- Pontikakos C., Karamaouma F., Hetzroni A., Kontodimas D., Soroker V., Samiou F., Giorgoudelli S., Melita O., Papageorgiou S., Benjalmin P. & Goldshtein E. 2017. CPLAS information system as a monitoring tool for integrated management of palm pests In Handbook of major palm pests Biology and management Soroker V. & Colazza S. Eds Wiley Blackwell, Oxford, Royaume-Uni, ISSN 9784449057451, pp. 233-254.
- Potrich M., daSilva R. T. L., Fabiana M. C., Maia F. M. C., Lozano E. R., Ross R. M., Colombo F. C., Tedesco F.G. & deGouvea A. 2018. Effect of entomopathogens on Africanized *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). *Revista Brasileira de Entomologia* 1: 23-28.
- Pu Y., Ma T., Hou Y. & Sun M. 2016. An entomopathogenic bacterium strain, *Bacillus thuringiensis*, as a biological control agent against the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). *Pest Management Science* 73: 1494-1502.
- Raciti E., Conti F., Carta Cerrella D., Morabito M., Lidestri A., Malfitana S. & Romano D. 2013. Actes du Colloque méditerranéen sur les ravageurs des palmiers, 16, 17 et 18 janvier 2013, Nice, France : 441-448.
- Rahalkar G. W., Harwalkar M. R., Ranavare H.D., Shantaram K. & Gopplayengar A. R. 1973. Laboratory studies on radiation sterilization of the red palm weevil, (*Rhynchophorus ferrugineus* Oliv.) males. *Journal of Plantation Crops* 1: 141-146.
- Rahalkar G. W., Harwalkar M. R., Ranavara H. D., Chandy Kurian V. A., Abraham V. A., et Abdulla Koya K. M. 1977. Preliminary field studies in the control of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* using radio sterilized males. *Journal of Nuclear Agriculture and Biology* 6: 65-68.
- Ramachandran C. P. 1991. Effect of gamma radiation on various stages of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* F. *Journal of Nuclear Agriculture and Biology* 20: 218-221.
- Ranavara H. D., Harwalkar M. R. et Rahalkar G. W. 1975. Studies on the feasibility of using sterile females along with sterile males in the control of red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv. (Coleoptera: Curculionidae). In: Use of Radiations and Radioisotopes in Studies of Plant Productivity: Proceedings of a symposium held at G. B. Plant University of Agriculture and Technology: Pantnagar, India: April 12-14, 1974, Bombay, India Department of Atomic Energy: 861-8.
- Reginald C. 1973. Principal insect pests. In: Coconuts. Tropical Agriculture Series. Longmans, London, UK.
- Rimbault L. 2017. C'est l'ennemi public n° 1 du palmier phœnix. La guerre au charançon rouge est déclarée. Les propriétaires de palmiers phœnix, habitant dans un rayon de 10 km autour de Saint-Pierre-lès-Elbeuf, doivent se faire connaître pour éradiquer cet insecte nuisible. *Le Courrier de l'Eure*, 22 février 2017. https://actu.fr/normandie/neubourg_27428/cest-lennemi-public-n-1-du-palmier-phoenix-la-guerre-au-charancon-rouge-est-declaree_9696730.html
- Roberti A., André N., Bodendorfer J., Colas C. & Vidal C. 2013. 2006-2012, évolution des foyers de charançon rouge du palmier *Rhynchophorus ferrugineus* dans les trois régions contaminées: Corse, Languedoc-Roussillon et Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Proceedings of the AFPP - Palm pest Mediterranean Conference, Nice 16-18 janvier 2013, p. 321-337.
- Rochat D. 2006. Olfactory trapping of Red Palm Weevil: Drawbacks and Prospect. Actes du 1st International Workshop on Red Palm Weevil, *Rhynchophorus ferrugineus*. IVIA, Moncada, Espagne. pp. 99-104. Ed. Agroalimed et Generalitat Valenciana, Espagne, ISBN : 84-690-1742-X).
- Rochat D., Schmidt-Buesser D., Couzi P., Lherminier B., Roskam P., Hamidi R., Avand-Faghieh A. & Renou M. 2013. Charançon rouge du palmier : traits d'écologie, comportement olfactif et piégeage. Actes du Colloque méditerranéen sur les ravageurs des palmiers, 16-18 janvier 2013, AFPP-Nice, pp. 15-31. AFPP, Alfortville.
- Rochat D., Dembilio Ó., Jaques J. A., Suma P., La Pergola A., Hamidi R., Kontodimas D. & Soroker V. 2017. *Rhynchophorus ferrugineus*: Taxonomy, distribution, biology, and life cycle In Handbook of

major palm pests Biology and management Soroker V. & Colazza S. Eds Wiley Blackwell, Oxford, Royaume-Uni, ISSN 9784449057451, pp. 69-104

- Salama H. S. & Abd-Elgawad M. 2002. Activity of heterorhabditid nematodes at high temperature and in combination with cytoplasmic polyhedrosis virus. *Journal of Pest Science* 78: 78-80.
- Saleh M. M. E., Alheji M. A., Alkhalaf M. H., Alferdan H. & Darwish A. 2011. Evaluation of *Steinernema* sp. SA a native isolate from Saudi Arabia for controlling adults of the red palm weevil: *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier). *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 21 (2): 277-282.
- 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.
- Soroker V. 2013. Historique de la gestion du charançon rouge en Israël, 1991-2011. Actes du Colloque méditerranéen sur les ravageurs des palmiers. 16-18 janvier 2013, Nice, France. p. 197.
- Soroker V., Suma P., La Pergola A., Navarro Llopis V., Vacas S., Cohen Y., Cohen Y., Alchanatis V., Milonas P., Golomb O., Goldshtein E., El Banna A. E. M. & Hetzroni A. 2017 Surveillance techniques and detection methods for *Action Rhynchophorus ferrugineus* and *Paysandisia archon* In Handbook of major palm pests Biology and management Soroker V. & Colazza S. Eds Wiley Blackwell, Oxford, Royaume-Uni, ISSN 9784449057451, pp. 220-226.
- Soroker V. 2018. Communication personnelle à Rochat D.
- Suma P., Peri E., La Pergola A., Soroker V., Dembilio O., Riolo P. & Nardi S. 2017. Action programs for *Rhynchophorus ferrugineus* and *Paysandisia archon* In Handbook of major palm pests Biology and management Soroker V. & Colazza S. Eds Wiley Blackwell, Oxford, Royaume-Uni, ISSN 9784449057451, pp. 280-299.
- Vacas S., Primo J. & Navarro-Llopis V. 2013. Advances in the use of trapping systems for *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae): traps and attractants. *Journal of Economic Entomology* 106: 1739-1746.
- Vacas S., Abad-Payá M., Primo J. & Navarro-Llopis V. 2014. Identification of pheromone synergists for *Rhynchophorus ferrugineus* trapping systems from *Phoenix canariensis* palm volatiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62: 6053-6064, doi : 10.1021/jf502663y.
- Vacas S., Melita O., Michaelakis A., Milonas P., Minuz R., Riolo P., Abbass M. K., Lo Bue P., Colazza S., Peri E., Soroker V., Livne Y., Primo J. & Navarro-Llopis V. 2016. Lures for red palm weevil trapping systems: aggregation pheromone and synthetic kairomone. *Pest Management Science* 73 : 223-231, doi : 10.1002/ps.4289
- Vidyasagar P. S. P. V., Mohammed H., Abozuhairah R. A., Al-Mohanna O. E. & Al-Saihati A. A. 2000. Impact of mass pheromone trapping on red palm weevil: adult population and infestation level in date palm gardens of Saudi Arabia. *The Planter* 76: 347-355.
- Witzgall P., Kirsch P. & Cork A. 2010. Sex Pheromones and their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology* 36: 80-100.

Sites internet

Coût du traitement Beauveria : <https://sauvonsnospalmiers.fr/quel-avenir-pour-le-beauveria-bassiana.html>

Coût des traitements : Le Figaro <http://www.lefigaro.fr/jardin/2015/10/23/30008-20151023ARTFIG00007-il-faut-sauver-les-palmiers-du-midi-de-la-france.php>

Piège Technipalm http://www.technipalm.com/images/traitement/141128_Rhynchotrak_VF.pdf

OILB/SROP, 2004. Integrated Production, Principles and Technical Guidelines, 3rd Edition. <https://www.iobc-wprs.org/ip_ipm/01_IOBC_Principles_and_Tech_Guidelines_2004.pdf>

6.2 Normes

NF X 50-110 (mai 2003) Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise. AFNOR (indice de classement X 50-110).

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine

<p>ANSES Reçu le 30 MAI 2017</p>	<p>2017 -SA- 0 137</p>
 <p>MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION</p>	
<p>Direction générale de l'alimentation Service des actions sanitaires en production primaire Sous direction de la qualité, de la santé et de la protection des végétaux Bureau de la santé des végétaux et Bureau des intrants et du biocontrôle 251 rue de Vaugirard 75352 Paris cedex 15</p>	<p>Monsieur le Directeur Général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail 14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort cedex</p>
<p>Dossier suivi par : Juliette Auricoste, Marie Touvais Paris, le 30 MAI 2017 Mél : bsv.sdqspv.dgal@agriculture.gouv.fr Tel : 01 49 55 59 35</p>	
<p>Réf. interne : BSV/2017- 05 / 0 13</p>	
<p>Objet : Saisine relative aux stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier</p>	
<p>Conformément à l'article L.1313-3 du code de la santé publique, j'ai l'honneur de solliciter l'avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail concernant les stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier.</p>	
<p>Éléments de contexte et données utiles La communauté scientifique internationale (source : publication FAO avril 2017) s'accorde sur l'importance de la combinaison des mesures de lutte en fonction des niveaux d'infestation. Plusieurs mesures de lutte sont envisageables : assainissement mécanique, application d'insecticides à titre préventif ou curatif, piégeage de masse, lutte biologique. Par ailleurs, des expérimentations sur la lutte biologique sont en cours.</p>	
<p>Questions posées Aussi, dans la perspective d'améliorer les stratégies de lutte contre le charançon rouge du palmier, je vous saurais gré de bien vouloir identifier les stratégies (en tant que combinaison de différentes méthodes de lutte) les plus pertinentes en fonction du niveau d'infestation et de l'objectif poursuivi (éradication / stabilisation de la population). Je vous remercie de proposer également des scénarios incluant les méthodes en cours de développement, des scénarios mobilisant uniquement des méthodes non chimiques ou de biocontrôle, y compris avec l'utilisation du <i>Beauveria bassiana</i> 203. Vous préciserez si ces stratégies peuvent être appliquées toute l'année, ou si elles doivent être limitées à certaines périodes de l'année.</p>	
<p>Délaï justifié Je souhaiterais pouvoir disposer de votre avis dans un délai de 8 mois à compter de la date de</p>	

réception de ce courrier, ainsi que d'un rapport intermédiaire pour fin octobre.

Destinataires pour la réponse mail

- bsv.sdqspv.dgal@agriculture.gouv.fr
- bib.sdqspv.dgal@agriculture.gouv.fr
- berl.sdpal.dgal@agriculture.gouv.fr

Mes services se tiennent à votre disposition pour vous apporter toute information complémentaire.

Je vous remercie de bien vouloir m'accuser réception de la présente demande.

Copie : SDPAL/BERL

Le Directeur Général de l'Alimentation,
Patrick DENAUMONT

Notes





Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr / [@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)