

InfosCtifl

LE MENSUEL DU CENTRE TECHNIQUE INTERPROFESSIONNEL DES FRUITS ET LÉGUMES

LE PROJET EUFRUIT RÉDUCTION DES RÉSIDUS DE PESTICIDES SUR LES FRUITS ET DANS L'ENVIRONNEMENT





ÉTAT DE L'ART SUR LA RECHERCHE EN PRODUCTION INTÉGRÉE DE LA POMME

CO-AUTEURS

MARIANNE BERTELSEN, AARHUS UNIVERSITY ; PHILIPPE BINARD, FRESHFEL ; ANA BUTCARU, USAMV ; JORDI CABREFIGA, IRTA ; PETER-FRANS DE JONG, STDLO ; HELENE DERUWE, FRESHFEL ; MICHELLE FOUNTAIN, NIAB EMR ; HINRICH HOLTHUSEN, ESTEBURG ; BEATRICE IACOMI, USAMV ; CHRISTELLE LACROIX, INRA ; MARKUS KELDERER, LAIMBURG ; ANDREAS NAEF, AGROSCOPE ; DEBORAH REES, NATURAL RESOURCES INSTITUTE ; FRANCESCO SPINELLI, UNIBO ; WENDY VANHEMELRIJCK, PCFRUIT ; MARCEL WENNEKER, STDLO

**LIEN VERS LA
PLATE-FORME DES
CONNAISSANCES :**
[HTTP://KP.EUFRIN.EU](http://kp.eufrin.eu)

Ce projet a reçu un financement dans le cadre du programme de recherche et innovation Horizon 2020 de l'Union européenne, au titre de la convention de subvention n° 696337.

Infos-Ctifl est édité par le CTIFL
(Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes créé par arrêté du 24 septembre 1952 de la loi du 22 juillet 1948)

Adresse

22 rue Bergère, 75009 Paris - Tél. 01 47 70 16 93 - Fax 01 42 46 21 13

Site internet

www.ctifl.fr

Directeur de la publication

Louis Orenge

Rédacteur en chef

Jean-François Bloch-Berthié -

email : bloch-berthie@ctifl.fr

Comité de rédaction

Franziska Zavagli (CTIFL)

Mise en page

Frédéric Bourcet

Responsable des abonnements

Véronique Bara - email : abonnement@ctifl.fr

Abonnements

Prix 2019 pour 10 numéros/an

France - 90 € - Étranger 135 €

Prix du numéro 12 €

N° de commission paritaire en cours

Dépôt légal 4^e trimestre 2018 - ISSN 0758-5373

Impression

Chirat - 744 rue de Sainte Colombe

42540 Saint-Just-La-Pendue

Photo de couverture

Freshfel/Fotolia

Toute reproduction partielle ou intégrale est autorisée sous réserve de mentionner la source



© Aarhus University

> RÉUNION CONJOINTE EUFRIN-EUFRUIT : FOCUS SUR LA RECHERCHE POUR RÉDUIRE L'EMPLOI DES PESTICIDES ET LIMITER LES RÉSIDUS SUR FRUITS ET DANS L'ENVIRONNEMENT

EUFRUIT est un projet Horizon 2020 financé par l'Europe, qui vise à faciliter l'accès aux connaissances et à diffuser le potentiel existant de recherche et innovation au profit de la filière des fruits et légumes frais et des consommateurs. Le consortium a été créé par les membres du réseau informel EUFRIN (European Fruit Research Institutes Network), composé de départements universitaires et d'instituts de recherche sur les cultures fruitières tempérées, ainsi que d'organisations représentatives de la filière fruits frais.

Le projet est divisé en 4 Work Packages (WP) selon les thématiques : nouvelles variétés de fruits (WP2), résidus de pesticides (WP3), qualité des fruits (WP4) et production durable (WP5). Le présent document donne un aperçu de l'état de l'art de 14 instituts européens en matière de recherches et pratiques actuelles visant à réduire l'utilisation de pesticides et à limiter les résidus sur les fruits et les risques pour l'environnement (WP3). La production de pommes a été choisie comme principale culture d'étude, avec des exemples sur différents thèmes, tels que : solutions alternatives (agents de biocontrôle, substances naturelles, médiateurs chimiques, attractants) aux pesticides chimiques au verger et après récolte, barrières physiques, biodiversité fonctionnelle, stratégies chimiques pour éviter les résidus, techniques innovantes de pulvérisation, ainsi qu'une approche

systémique associant différentes techniques pour réduire l'utilisation de pesticides.

PRODUCTION DE FRUITS ET RÉSIDUS DE PESTICIDES

Dès le début du vingtième siècle, les pesticides ont toujours été utilisés largement en production fruitière. Les arbres ont une longue durée de vie et un emplacement fixe, ce qui rend une rotation des cultures impossible et permet à une grande diversité de maladies et ravageurs d'être présents en continu, prêts à frapper dès que les conditions sont favorables. Par ailleurs, dans le cas des fruits, l'aspect compte ; en effet, les consommateurs préfèrent un fruit sans défauts et il y a des règles strictes concernant le pourcentage de dégâts admis. Les pesticides ont permis de lutter contre ces maladies et ravageurs et d'obtenir un large éventail de fruits bon marché, abondants et disponibles tout au long de l'année, offrant un mode de vie plus sain à la grande majorité des consommateurs.

L'utilisation de pesticides pendant les phases de développement du fruit comporte le risque de laisser des résidus sur les fruits qui restent détectables après la récolte. Il y a une réglementation très stricte sur le délai autorisé d'utilisation des différents pesticides par rapport à



EUFRUIT, UN PARTENARIAT ENTRE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT EN FRUITS ET LÉGUMES FRAIS ET LA RECHERCHE

La filière des fruits et légumes frais est en première ligne pour l'adoption de méthodes de production durables permettant de répondre aux défis sociétaux et environnementaux, ainsi qu'à l'évolution des attentes des consommateurs, qui veulent des produits sains et sûrs.

Afin d'adapter les itinéraires culturels et réduire la dépendance aux pesticides, le secteur des fruits et légumes frais collabore étroitement avec la recherche pour implémenter de nouvelles méthodes de production, en vue d'éviter les attaques de maladies et bioagresseurs et d'être un acteur proactif dans la protection du sol, de l'eau et de la biodiversité.

Ce partenariat entre la chaîne d'approvisionnement en fruits et légumes frais et la recherche est primordial pour la mise en place de nouvelles pratiques culturales, réduire la dépendance aux produits chimiques et introduire de nouveaux systèmes de lutte biologique dans les vergers.

Le projet EUFRUIT est un jalon important pour que les producteurs et la chaîne d'approvisionnement partagent bonnes pratiques et connaissances. C'est un catalyseur pour stimuler les producteurs à essayer et mettre en pratique des modèles de production alternatifs et innovants, qui contribuent à des méthodes de production plus durables, minimisant les résidus sur les fruits et légumes fournis aux consommateurs européens. Compte tenu de la portée des différentes initiatives prises à travers l'Europe, les producteurs sont les mieux placés pour faire face à la réglementation très contraignante de l'UE en matière de produits phytosanitaires et de limites maximales de résidus. Ils peuvent même aller au-delà, afin de répondre à des besoins spécifiques de clients et de satisfaire les attentes du consommateur en termes de fruits et légumes sûrs, frais et naturels.

la date de récolte. Cela permet d'assurer que la quantité de résidus sur les fruits ne dépasse pas la limite maximale de résidu (LMR). Si des fruits contiennent des résidus à des concentrations supérieures aux LMR, le fruit est interdit à la vente. En réalité, la plupart des fruits (70-90 %) contiennent moins de 10 % des LMR autorisées comme l'attestent les rapports de la sécurité sanitaire fédérale ou des organismes privés comme QS Qualität und Sicherheit GmbH, Bonn, Allemagne (QS, 2015, 2016, 2018). La LMR est fixée avec une marge de sécurité, de manière à éviter un dépassement de la Dose Journalière Admissible (DJA) et à assurer que le consommateur le plus vulnérable puisse consommer des fruits et légumes tous les jours sans risque pour sa santé. Les pesticides font partie des substances les mieux étudiées, avec une évaluation de leur toxicité aussi bien immédiate qu'à long terme. En règle générale, les niveaux de résidus constatés dans les fruits sont

considérés comme ne posant pas de problème et sans conséquence sur la santé humaine par les Instituts Nationaux chargés de surveiller les résidus dans les aliments (Andersen 2016). Quelques études récentes indiquent également des effets négligeables. Une étude danoise

estime l'effet de l'absorption de résidus comme équivalent à celui d'un verre de vin tous les 6 ans (Larsson *et al.*, 2018). Une étude américaine attire par ailleurs l'attention sur le fait souvent négligé que la focalisation des médias sur les résidus de pesticides risque d'entraîner une baisse de la consommation de fruits et légumes, ce qui irait à l'encontre de la recommandation de l'OMS d'augmenter ladite consommation (Reiss *et al.*, 2012). Les résidus de pesticides continueront toutefois de représenter une inquiétude constante, tant pour les médias que pour les organisations de consommateurs et de défense de l'environnement. Les pommes et les pêches figurent souvent parmi les « douze produits les plus toxiques » dans les listes de fruits et légumes contenant le plus de résidus ; de telles listes sont régulièrement publiées dans les médias (<https://www.healthline.com/nutrition/dirty-dozen-foods>). À l'avenir, des méthodes d'analyse plus fines vont forcément révéler plus de résidus qu'actuellement. La réduction des pesticides est également devenue un outil de compétitivité pour les supermarchés, forçant les producteurs à agir. Les producteurs de fruits, ainsi que la communauté scientifique qui les soutient, doivent donc s'attaquer à cette problématique et s'efforcer de développer des alternatives aux pesticides en cultures fruitières. ■



> UNE PRODUCTION FRUITIÈRE DURABLE POUR RÉPONDRE AUX EXIGENCES SOCIÉTALES ET ENVIRONNEMENTALES



ALTERNATIVES AUX PESTICIDES CHIMIQUES

UTILISATION D'AGENTS DE BIOCONTRÔLE CONTRE LES MALADIES ET RAVAGEURS

La lutte biologique repose sur l'utilisation d'organismes ayant la capacité de réduire les populations d'organismes nuisibles (vecteurs de maladies ou ravageurs). La lutte biologique existe depuis des siècles ; en 1888, par exemple, il y a eu des lâchers de la coccinelle *Rodolia* pour lutter contre une cochenille sur agrumes en Californie. Cependant, son utilisation moderne a commencé à la fin du dix-neuvième siècle (DeBach 1964 ; van Lenteren et Godfray 2005).

On distingue quatre types différents de lutte biologique : naturelle, par conservation, classique et augmentative (Eilenberg *et al.*, 2001; Cock *et al.*, 2010), classés du plus faible au plus fort niveau d'intervention humaine. Les agents de biocontrôle peuvent également être classés en auxiliaires **macroscopiques**, comprenant les insectes, les acariens et les nématodes, et les **micro-organismes**, comprenant les bactéries, les virus et les champignons. Les deux types peuvent être différenciés en fonction de la cible. Ainsi les auxiliaires macroscopiques ne peuvent servir que contre les ravageurs, alors que les agents microscopiques ont une rangée de cibles plus large, allant des bactéries aux insectes, en passant par les champignons. L'utilisation d'antagonistes microbiens est une méthode de lutte largement employée contre les maladies dans les cultures horticoles. Le principal avantage de la lutte biologique, c'est la réduction de pesticides chimiques, minimalisant les résidus sur fruits et, par conséquent, le risque de développement de résistances parmi les populations pathogènes. En outre, les

agents de biocontrôle ont une action très spécifique contre un pathogène donné et sont donc considérés comme inoffensifs envers les espèces non-cibles.

Dans le cas des **auxiliaires macroscopiques**, ou agents de lutte biologique traditionnelle, la stratégie d'application la plus répandue est celle de la lutte augmentative (ou inondative), basée sur l'introduction massive d'agents de biocontrôle afin d'obtenir une protection immédiate contre les bioagresseurs (Lorito *et al.*, 2010; Parnell *et al.*, 2016; van Lenteren 2012). Les plus connus sur fruits à pépins sont les acariens prédateurs *Amblyseius californicus* pour lutter contre les acariens ravageurs, le chrysope *Chrysoperla lucasina* contre les pucerons et la coccinelle *Cycloneda limbifer*, également contre les pucerons. Ces auxiliaires ont été utilisés respectivement depuis 1985, 1995 et 1990 (van Lenteren *et al.*, 2018). Cependant, leur efficacité est variable et dépend très fortement de la pression du ravageur. Récemment, la tendance penche vers la lutte biologique par conservation, qui consiste à adapter l'habitat de façon à attirer et retenir les ennemis naturels, qui réguleront naturellement les ravageurs (Weller *et al.*, 2002; Mendes *et al.*, 2011), par exemple i) en ajoutant des ressources florales, ii) en introduisant des hôtels à insectes ou iii) en créant des habitats artificiels pour la faune locale. Cette stratégie s'implante plus particulièrement en agriculture biologique et, dans certaines régions, des projets évaluent d'ores et déjà de manière positive son applicabilité commerciale. Ce type de stratégie, en association avec d'autres mesures telles que l'utilisation de protections physiques permanentes (filets), devrait favoriser une production utilisant moins de produits chimiques.

Le biocontrôle est donc une pratique courante de lutte contre les ravageurs dans les stratégies de protection intégrée des cultures. Cependant, il n'existe actuellement pas de méthodes de biocontrôle pour les ravageurs émergents les plus importants, comme la drosophile à ailes tachetées (*Drosophila suzukii*) et la punaise diabolique (*Halyomorpha halys*). Comprendre le complexe des ennemis naturels et autres facteurs biotiques causant une mortalité de ces deux ravageurs est essentiel pour la mise au point de la lutte biologique et de stratégies de protection intégrée.



> CARABE CYLINDERA GERMANICA CONSOMMANT UNE LARVE DE CARPOCAPSE

Les **micro-organismes** sont généralement des souches bactériennes ou fongiques isolées de l'épiphyte, de l'environnement endophytique ou de la rhizosphère de la plante hôte (Cabrefiga *et al.*, 2014, Daranas *et al.*, 2018, Fira *et al.*, 2018). Dans le commerce, on trouve des agents de biocontrôle contre différentes maladies avant et après récolte. Dans le cas des fruits à pépins, l'espèce entomopathogène la mieux étudiée est la bactérie *Bacillus thuringiensis*. Cependant, d'autres insecticides biologiques sont homologués en Europe, par exemple les champignons *Beauveria bassiana* et *Paecilomyces fimosoroseus* ou le virus de la granulose *Cydia pomonella* Granulovirus. Plus récemment, d'autres bactéries entomopathogènes, telles que *Serratia* spp, *Pseudomonas entomophila*, *Burkholderia* spp., *Chromobacterium*, *Xenorhabdus* et *Photorhabdus* spp., ont été étudiées pour lutter contre différents ravageurs. Un autre micro-organisme très utilisé est le champignon *Metarhizium anisopliae*. Il présente l'avantage d'avoir une action très limitée contre les insectes utiles tels que les pollinisateurs. En fait, il peut même être employé contre le *Varrua* dans les ruches d'abeilles mellifères. Toutefois, de nombreux microorganismes sont pour l'instant à l'étude et non encore homologués.

Des micro-organismes comme *Bacillus amyloliquefaciens*, *Aureobasidium pullulans* et *Trichoderma harzianum* sont disponibles dans le commerce pour la lutte contre des maladies bactériennes et fongiques. Dans ces cas, différents modes d'action ont été décrits, par exemple l'exclusion compétitive du pathogène, la production de composés antimicrobiens tels que les cyclolipopeptides dans *Bacillus* spp., de phénols dans *Pseudomonas*



> LES COCCINELLES SONT VORACES DES PUCERONS



> LARVE DE SYRPHÉ VIDANT UN PUCERON

fluorescents et de pseudopeptides dans *Pantoea agglomerans* et *Pantoea vagans*. D'autres modes d'action reposent sur l'interférence avec le système de signalisation du pathogène ou sur l'induction d'une résistance de la plante contre des maladies. Ce dernier mode d'action est exploité par *Trichoderma harzianum* et les rhizobactéries favorisant la croissance des plantes (RFCP ou, en anglais, PGPR).

Des maladies bactériennes bien connues sur arbres fruitiers sont le feu bactérien sur fruits à pépins (*Erwinia amylovora*), les maladies à *Xanthomonas* sur fruits à noyau et fraisier, ainsi que les maladies à *Pseudomonas* sur pommier et kiwi. Les produits de biocontrôle les plus répandus sont basés sur des antagonistes bactériens, et plus particulièrement *Lactobacillus plantarum* et *B. amyloliquefaciens*. Un autre groupe d'agents de Biocontrôle prometteurs est formé par les bactériophages lytiques, qui sont efficaces contre le chancre des agrumes, par exemple. Les bactéries d'acide lactiques sont connues pour ne pas avoir d'incidence sur le consommateur ou l'environnement, puisqu'elles sont déjà utilisées comme additifs alimentaires pour lutter contre les bactéries pathogènes d'origine alimentaire sur fruits et légumes frais. Les bactéries d'acide lactique efficaces contre *Erwinia amylovora*, *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni* et *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* ont déjà été identifiées et testées, bien que pas encore homologuées.

En conclusion : l'utilisation du biocontrôle dans les programmes de lutte intégrée peut constituer une alternative aux produits chimiques, conformément à la réglementation de l'Union européenne et plus précisément à la directive sur l'utilisation des pesticides compatible avec le développement durable (CE 2009), mais

leurs conditions optimales d'application et leur niveau d'efficacité doivent être améliorés. Une association du biocontrôle avec d'autres stratégies culturales devrait permettre de parvenir à des systèmes de production plus respectueux de l'environnement.

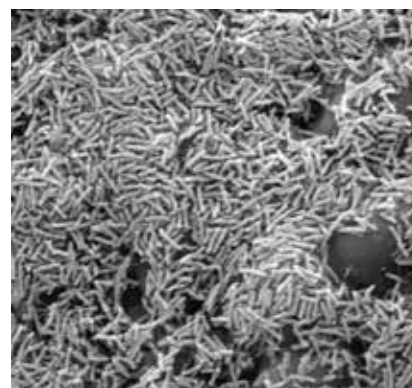
PRODUITS NATURELS EN PROTECTION DES CULTURES

Les produits naturels ont une longue histoire d'utilisation en protection des cultures. De nos jours, de tels **produits d'origine végétale, animale** (le chitosan, par exemple) **ou minérale** sont disponibles pour la lutte contre les maladies et ravageurs, et certains d'entre eux pourraient être utilisés en production fruitière intégrée et en agriculture Biologique. La demande des consommateurs d'avoir des pommes produites dans un meilleur respect de l'environnement a généré le besoin d'alternatives en matière de lutte contre la tavelure, une maladie qui nécessite toujours un grand nombre de traitements fongicides. Dans ce contexte, le **bicarbonate de potassium** peut être employé avec succès contre la tavelure du pommier, en traitement préventif ou avec une stratégie de pulvérisation « pendant l'infection », lorsque les conditions d'infection primaire sont favorables (Jamar *et al.*, 2010). L'association de carbonates de potassium et d'une dose réduite de soufre mouillable peut permettre une bonne protection contre l'oïdium, ainsi qu'un rendement plus élevé (Kelderer *et al.*, 2016 ; Mitre *et al.*, 2018). Un problème encore non résolu dans la production biologique de pommes, ce sont les maladies de conservation. L'efficacité de l'application avant récolte de **bicarbonate, d'argile acide** (Holthusen 2014a, b) **ou de la laminarine** dépend essentiellement du climat de la région et est susceptible de causer des problèmes de phytotoxicité. Aussi les producteurs sont-ils réticents à implémenter ces stratégies, pour des raisons économiques (Agroscope, Suisse ; Aarhus University, Danemark).

Des produits naturels tels que les **extraits de plantes** suscitent de plus en plus d'intérêt. Il y a toutefois peu de produits adaptés disponibles dans le commerce. L'un des principaux défis pour la mise en marché de ces produits est la standardisation

de la ou des substance(s) active(s), ainsi que les contraintes réglementaires pour l'homologation. Dans les pays où leur utilisation est autorisée ou homologuée, les extraits standardisés d'huile de neem sont efficaces contre le puceron cendré du pommier, l'un des ravageurs les plus importants et les plus nuisibles, connu pour ses souches résistantes aux insecticides en Europe centrale et méridionale. Un positionnement précis de l'application, peu après l'éclosion des œufs au printemps, est crucial. Dans certains cas, les produits à base d'huile de neem peuvent avoir un effet phytotoxique inacceptable sur les feuilles de pommier, entraînant leur disqualification pour l'emploi dans les vergers de pommier commerciaux (Trautmann, 2016). Un autre extrait végétal, à base de *Quassia amara*, est efficace contre l'hoplocampe des pommes lorsqu'il est appliqué lors de la chute des pétales (Laimburg, Italie). Des extraits d'*Equisetum arvense*, d'*Urtica* spp., de *Glycyrrhiza glabra*, d'algues, ainsi que le limonène, le thymol et la laminarine sont en cours d'évaluation contre la tavelure du pommier en Italie (Laimburg) et en Espagne (IRTA). En France, la laminarine est homologuée contre la tavelure du pommier et le feu bactérien. En règle générale, les produits botaniques ont une faible toxicité, une durée de conservation plus courte, une persistance limitée au champ (il faut des applications répétées), ne développent pas de résistance chez les bioagresseurs et sont considérés comme sans danger pour l'homme et l'environnement.

La gestion des maladies et ravageurs implique plus que l'application du bon produit au bon moment. Ce qui commence comme un ensemble de tactiques contre



> AGENT DE BIOCONTRÔLE CONTRE LES BACTÉRIES COLONISANT LA SURFACE D'UNE FLEUR DE POIRIER

© Jordi Cabrefiga



© Pixabay.com

> EXTRAITS D'EQUSETUM ARVENSE (PRÊLE)
POUVANT ÊTRE UTILISÉS EN PROTECTION DES
PLANTES

le complexe de ravageurs/maladies local doit progressivement devenir un projet de gestion globale, où différentes stratégies (leviers géographiques et climatiques, sélection des variétés, assainissement) fonctionnent en synergie. Les prix du marché et les coûts de production jouent également un rôle dans la conception et la viabilité de tels systèmes de production.

UTILISATION DE MÉDIATEURS CHIMIQUES ET ATTRACTANTS CONTRE LES RAVAGEURS EN VERGERS DE POMMIER

L'utilisation de produits naturels synthétisés, tels que les phéromones et autres médiateurs chimiques, est considérée comme un moyen de réduire l'emploi d'insecticides chimiques classiques. Les phéromones d'insectes sont des substances chimiques volatiles produites par les insectes dans le cadre de leur système de signalisation sociale. Par exemple, les insectes peuvent émettre des phéromones pour attirer des individus de sexe opposé en vue d'un accouplement. Des phéromones ont été isolées pour de nombreuses espèces d'insectes et elles peuvent contribuer à la lutte contre les ravageurs, soit en permettant un suivi précis des populations, soit en servant directement dans un système de lutte, par exemple la confusion sexuelle.

Un ravageur du pommier contre lequel les phéromones se sont montrées particulièrement efficaces est le carpocapse du pommier (*Cydia pomonella*), qui fait partie de l'ordre des lépidoptères, famille des tortricidés, et est l'un des principaux ravageurs sur pommier en Europe – et

aussi un ravageur clef sur poirier. Des travaux pour tester les systèmes de lutte contre le carpocapse ont été effectués par NIAB EMR au Royaume-Uni (Saville *et al.*, 2018). Le carpocapse peut être maîtrisé efficacement par des pulvérisations d'insecticides, mais cela nécessite une pulvérisation répétée chaque saison, parce qu'une partie de la population reste toujours en place pour réinfester la culture.

La firme Exosect (Royaume-Uni) a développé le système de confusion sexuelle du carpocapse Exosex CM (« Exosex CM codling moth pheromone autoconfusion system »). Un maillage de 25 diffuseurs triangulaires par hectare est mis en place dans les vergers au début du vol du carpocapse, qui a habituellement lieu au mois de mai et peut être détecté au moyen de pièges à phéromones.

Le fond de chaque diffuseur contient de la poudre de cire chargée de phéromones sexuelles du carpocapse, ainsi qu'un appât à base de phéromones sexuelles. L'appât attire les mâles dans les diffuseurs, où ils sont contaminés par la poudre chargée de phéromones, qui se fixe sur leur corps par un effet électrostatique. Les mâles contaminés deviennent « confus » et attirent à leur tour d'autres mâles, évitant ou retardant l'accouplement avec des femelles par le principe des « fausses pistes ».

Un autre produit fonctionnant de manière similaire est le RAK3+4 (BASF, commercialisé par Agrovista au R-U). Les essais entrepris au Royaume-Uni par NIAB EMR dans le cadre du projet AHDB TF 223 (Saville *et al.*, 2018) sur une série d'exploitations ont montré que, lorsque les conditions sont favorables, cette phéromone peut apporter une protection comparable à celle obtenue avec des programmes classiques de pulvérisation d'insecticide. Ainsi, sur deux exploitations et sur deux saisons, où une partie du verger était traitée avec un insecticide classique et une autre partie avec la phéromone RAK3+4, les niveaux de dégâts sur fruits étaient réduits dans les mêmes proportions et le nombre de carpocapses était similaire. Les deux produits, Exosex et RAK3+4, ont montré une efficacité comparable.

Pour une mise en œuvre efficace de la confusion sexuelle, des pièges à phéromones sont utilisés pour le suivi du nombre d'insectes et optimiser l'implémentation. Ce n'est pas une solution idéale, puisque cela indique seulement

que les mâles ne sont pas attirés. Cela ne dit pas à l'arboriculteur si des femelles ont réussi à s'accoupler et à pondre des œufs. Le piégeage aux phéromones et les modèles RIMPro de développement des populations sont très utiles pour le suivi du nombre d'insectes d'une saison à l'autre. Au Royaume-Uni, le système RAK3+4 permet également une bonne protection contre deux autres tortricidés sur pommier.

Le système de confusion sexuelle n'offre une protection adéquate qu'en cas de faibles populations de carpocapse et devrait être utilisé qu'avec d'autres mesures de protection, telles que le virus de la granulose et/ou des insecticides.

Les plantes produisent aussi des produits chimiques volatils de signalisation (appelés produits sémiocimiques ou médiateurs chimiques), par exemple pour stimuler des réactions de défense dans des parties distantes de la plante en cas d'attaque ou de blessure physique. Ces médiateurs chimiques sont souvent attractants pour les insectes, parce qu'ils indiquent la présence d'une source de nourriture. C'est pourquoi les médiateurs chimiques sont aussi utilisés pour encourager les ennemis naturels de ravageurs. Aux États-Unis, un produit contenant du salicylate de méthyle, le PredaLure™, est commercialisé pour attirer les syrphes, qui sont des prédateurs très efficaces de pucerons. Des essais conduits par le NIAB EMR et le Natural Resources Institute (université de Greenwich) ont confirmé l'efficacité du PredaLure™ pour augmenter le nombre de syrphes et ont commencé à identifier les combinaisons chimiques ayant une efficacité renforcée. ■



> DIFFUSEURS À PHÉROMONES POUR
CONFUSION SEXUELLE, POUR EMPÊCHER LES
MÂLES DE TROUVER LES FEMELLES

© Michelle Fontain



ALTERNATIVES AUX TRAITEMENTS POST-RÉCOLTE

Des traitements post-récolte sont appliqués pour réduire les pertes de fruits en conservation et dans le circuit commercial. Les pratiques les plus courantes consistent à tremper les fruits dans des solutions fongicides ou à thermonébuliser des fongicides dans les chambres froides. Ces deux techniques sont toutefois perçues d'un œil de plus en plus critique, parce qu'elles laissent des résidus de pesticides détectables sur fruits.

Une alternative, c'est la **nébulisation d'organismes de lutte biologique** dans les chambres froides. Cependant, l'efficacité est encore limitée (maximum 50 % contre *Neofabraea* spp.) et varie fortement en fonction de la distribution des dépôts dans la chambre froide. Cette distribution dépend des flux d'air, des buses d'injection, de la position du brumisateur et de la ventilation, ainsi que de la position des palox dans la chambre froide (Ambaw *et al.*, 2017). La technique doit être optimisée pour arriver à une distribution plus précise au sein de la chambre froide et des palox.

Contrairement aux produits de biocontrôle, les **traitements à l'eau chaude** fonctionnent sans aucun agent. En effet, c'est l'énergie thermique qui, sous la forme d'eau chauffée, prévient le développement de pourritures et tavelure de conservation. Des expériences conduites par Maxin *et al.*, (2012a) ont montré que l'effet du traitement à l'eau chaude ne repose pas seulement sur la réduction de la germination des spores, mais également sur une réaction physiologique des fruits, due au stress, contre les attaques fongiques. Le trem-

page dans l'eau chaude a montré des taux d'efficacité élevés (> 75 %) contre la plupart des pathogènes de pourriture de conservation sur pomme et poire s'il est appliqué à des températures comprises entre 48 et 52 °C pendant 2 à 3 minutes (Giraud *et al.*, 2012 ; Maxin *et al.*, 2014 ; Mathieu-Hurtiger *et al.*, 2014 et 2016 ; Edelenbos et Holthusen, 2018). Cependant, l'eau chaude n'a jamais été implémentée à grande échelle dans la filière fruits, parce que la consommation énergétique est relativement élevée, alors que les volumes traités sont relativement faibles. Ces dernières années, des recherches se sont focalisées sur les traitements à l'eau chaude de courte durée (rinçage à l'eau chaude) (Maxin *et al.*, 2012b). Comparé au traitement à l'eau chaude, le « rinçage » à des températures de 54 à 58 °C pendant 20 à 30 secondes a donné des résultats légèrement moins efficaces, tandis que la consommation énergétique était réduite d'au moins 50 % et le volume traité doublé (Holthusen, non publié). Récemment, une machine de « rinçage » à l'eau chaude est arrivée sur le marché ; elle peut être intégrée dans des lignes de conditionnement existantes et a une capacité de traitement d'au moins 10 tonnes de pommes h-1. La même technique peut être utilisée pour prévenir le développement de monilioses sur pêche. Des traitements à des températures comprises entre 56 et 60 °C pendant 15 à 60 secondes ont donné des taux d'efficacité de 50 à 90 % (Lurol *et al.*, 2018). En 2017, un nouveau système de douchage à l'eau chaude en ligne a été mis au point, avec une capacité de traitement de plusieurs tonnes de fruits/heure et une optimisation des différentes parties de la machine pour réduire les coûts de fonctionnement.

Le **nettoyage des fruits** est une autre approche post-récolte pour enlever les résidus de pesticides. Il pourrait être considéré comme un compromis entre le besoin de protection phytosanitaire au verger et la demande de la distribution pour des produits ayant le moins de résidus possible. Des expériences de lavage et brossage des fruits à l'eau, au savon et aux acides ont été menées dans différents Centres de recherche. En fonction de l'agent lavant et du pesticide étudiés, les résidus ont baissé



> NÉBULISATION D'AGENTS DE BIOCONTRÔLE EN CHAMBRE FROIDE

de 20 à 95 %. En règle générale, les agents lavant étaient un peu plus efficaces que l'eau. L'eau en tant que telle donnait des taux de réduction de 20 à 50 %, en fonction de la température, de la durée de lavage et des caractéristiques chimiques du pesticide (Regis, 2012). L'eau chaude était plus efficace que l'eau froide (Regis, 2012) et l'efficacité se trouvait systématiquement améliorée par un brossage mécanique (Holthusen 2014a, b). L'efficacité en matière de réduction de résidus était sans relation avec le moment de traitement, que celui-ci intervienne immédiatement après la récolte (Bertolini et Folchi, 2016) ou au bout de six mois en conservation ULO. **Cependant, aucune technique n'a permis de réduire les résidus au-dessous du seuil de détection. Par conséquent, l'objectif clef, qui était de réduire le nombre de résidus afin de répondre aux attentes des distributeurs, n'a pas été atteint.** ■



> AUGMENTER LA QUALITÉ DES FRUITS AVEC DES TRAITEMENTS À L'EAU CHAUDE INTÉGRÉS DANS LES LIGNES DE CALIBRAGE



> ESSAIS DE LAVAGE ET BROSSAGE POUR ENLEVER LES RÉSIDUS DES POMMES



BARRIÈRES PHYSIQUES

Pendant la période végétative, les arboriculteurs effectuent des traitements avec des produits phytosanitaires (principalement des fongicides, des insecticides et des acaricides) pour protéger les arbres et les fruits contre les dégâts occasionnés par des maladies et ravageurs. Au fil des ans, la filière fruits s'est vue obligée de chercher des alternatives aux produits de protection chimiques, pour des raisons diverses. Certains produits ont par exemple été retirés du marché en raison de nouvelles procédures d'homologation. D'autres ont perdu leur efficacité du fait de l'apparition de résistances chez différents ravageurs et maladies. En outre, le marché demande des fruits sans résidus détectables de produits phytosanitaires. Ces dernières années, plusieurs stations de recherche européennes ont étudié différentes méthodes physiques de lutte contre les maladies et ravageurs dans diverses cultures fruitières. Certaines de ces méthodes ont d'ores et déjà été implémentées dans les vergers par les producteurs, d'autres en sont encore au stade expérimental.

D'une manière générale, il faut faire la distinction entre filets anti-insectes et bâches plastiques. Le principe des **filets anti-insectes** (appelés Alt'Carpo en France, par exemple) est basé sur un effet de barrière physique. Le fait



> DES BÂCHES PLASTIQUES COMBINÉES AUX FILETS PARAGRÈLE POUR PROTÉGER LES FRUITS DE LA PLUIE ET LIMITER LA TAVELURE ET LES MALADIES DE CONSERVATION

que de nombreux vergers soient protégés par des filets paragrêle, afin de prévenir des dégâts météorologiques et améliorer la qualité des fruits, permet de recouvrir complètement le verger, en installant des filets anti-insectes sur les côtés dans le but d'utiliser cette « couverture » comme une barrière physique contre les lépidoptères (carpocapse, tordeuse orientale du pêcher et autres tortricidés) et les diptères (mouche mé-

diterranéenne), ces deux familles étant des ravageurs très communs. Dans les régions méridionales, qui voient se succéder plusieurs générations de carpocapses, la technique du filet comme barrière physique gagne rapidement du terrain. Les filets donnent des résultats positifs contre les hannetons, les abeilles en tant que vecteurs du feu bactérien, les mouches des fruits et *Halymorpha*. Leur efficacité dépend de la pression du ravageur, du type de filet, de la taille des mailles et du moment de la mise en place et peut atteindre 100 %. Des essais sur trois ans conduits dans la région espagnole de Gérone (Catalogne) ont prouvé que ces ravageurs ont été partiellement, et parfois totalement, maîtrisés avec cette technique. Parallèlement, l'utilisation de ce système de filets peut aider à introduire la lutte biologique contre d'autres ravageurs tels que les pucerons, grâce au recours à la faune auxiliaire. Les filets anti-insectes constituent donc un bon outil, qui permet de réduire les pulvérisations de produits chimiques en verger, et particulièrement d'insecticides.



> LA TAVELURE D'UNE IMPORTANCE ÉCONOMIQUE MAJEURE



© Michelle Fontain

> LES TROUS DE PÉNÉTRATION DES LARVES DE CARPOCAPSE RENDENT LES FRUITS IMPROPRES À LA COMMERCIALISATION



© Markus Kelderer

> LE SYSTÈME KEEP IN TOUCH® PROTÈGE LES ARBRES DE LA PLUIE ET DES MALADIES ET EXCLUT LES RAVAGEURS PAR UN FILET

Dans le cadre du projet multi-annuel « Ecophyto Pomme » en France, la mise en place de filets anti-insectes autour des vergers, associée à l'application de *Bacillus thuringiensis* et de virus de la granulose, a permis une réduction des insecticides chimiques de l'ordre de 40 à 50 % au total. Parfois, les filets sont simplement posés sur les arbres, dans d'autres systèmes, ils sont fixés autour du verger. La taille des mailles varie selon les régions de production, allant de 2,2 x 5,4 à 3 x 7,4 mm. Des mailles plus fines sont susceptibles d'offrir une meilleure protection. En fonction des systèmes de fixation et du moment de l'implémentation durant la floraison, il est possible d'influer sur la fécondation et la charge en fruits. Cependant, il y a aussi des effets négatifs, comme le développement accru des pucerons lanigères (*Eriosoma lanigerum*). En Europe, les cultures de cerises et de petits fruits ont été envahies par *Drosophila suzukii*. Dans cette situation, l'utilisation de filets avec un maillage de 0,8 x 0,8 mm est devenue impérative pour protéger la récolte. Dans la plupart des

cas, ces filets permettent une réduction radicale du nombre de traitements insecticides et par conséquent une réduction considérable des résidus sur fruits. Dans certains cas, une association de confusion sexuelle et/ou traitements insecticides est nécessaire. Étant donné que les filets anti-insectes peuvent être considérés comme une évolution des systèmes de filets paragrêle, ils suscitent peu d'inquiétude auprès des producteurs, qui acceptent facilement leur implémentation.

Les **bâches plastiques** protègent vergers et fruits contre la pluie et, par conséquent, contre l'infection par des maladies fongiques et bactériennes. Depuis la fin des années 90, les vergers de cerisiers sont couverts à l'approche de la récolte, afin de prévenir l'éclatement des fruits. Sur pommier et poirier, des essais sont menés par l'université d'Aarhus (Danemark), le CTIFL (France) et le centre de recherche de Laimburg (Italie). L'objectif principal est de couvrir les vergers durant toute la saison contre la tavelure, *Neofabraea* spp., *Alternaria*, *Marsonina*, la maladie de la suie et la

fumagine, réduisant ainsi le nombre de traitements autant que possible. Les résultats obtenus jusqu'ici sont très encourageants. En Italie et en France, il y a eu également de bons résultats contre *Pseudomonas syringae* sur kiwi et *Monilia* sur abricot.

Comme pour les filets anti-insectes, il existe des systèmes qui ne couvrent que le sommet des arbres et d'autres qui, combinés avec les filets paragrêle, couvrent tout le verger. Les résultats varient en fonction du système utilisé, du moment de déploiement, de la pression des différentes maladies, des variétés, de l'association à d'autres traitements etc. Certains essais ont montré un effet négatif sur le rendement et la qualité des fruits (coloration, sucres, acidité) en raison de la baisse du rayonnement photosynthétique sous la protection antipluie. L'oïdium a tendance à augmenter sous les bâches plastiques.

Les bâches plastiques montrent également un gros potentiel en termes de réduction de l'emploi de pesticides dans les vergers. D'un point de vue technique, les bâches plastiques ne sont pas encore prêtes pour une utilisation commerciale à grande échelle. En effet, il y a des inquiétudes concernant les effets indésirables sur le rendement et la qualité, l'incidence de maladies et ravageurs autres que ceux visés, ainsi que la mise en œuvre technique des systèmes. Toutefois, le principal obstacle à cette technologie est son coût. La couverture plastique nécessite une structure stable, capable de résister à des conditions venteuses, et la durée de vie d'une bâche plastique se limite à quelques années. Un autre souci, c'est sa durabilité écologique. Ainsi, son empreinte carbone est défavorable par rapport aux traitements pesticides appliqués avec du matériel de pulvérisation classique. Un autre aspect, qui joue surtout dans les régions touristiques, est l'impact visuel qu'ont les vergers recouverts de bâches plastiques sur le paysage. ■



BIODIVERSITÉ FONCTIONNELLE POUR FAVORISER LA LUTTE BIOLOGIQUE PAR CONSERVATION

Les vergers sont des agroécosystèmes complexes aux multiples couches biologiques, comprenant les arbres fruitiers, les bandes enherbées et les haies, qui peuvent toutes être influencées par les pratiques culturales. Les haies en bordure de verger permettent des associations de plantes afin de favoriser la diversité des réseaux trophiques par la mise à disposition d'une variété d'habitats et de ressources, ainsi que la **lutte biologique par conservation** contre les insectes ravageurs par la présence d'ennemis naturels (Simon *et al.*, 2010).

La conception et l'évaluation d'une haie expérimentale (1995-2005) dans des vergers de poirier dans le Sud-Est de la France pour lutter contre le psylle du poirier *Cacopsylla pyri*, ainsi que des suivis entomologiques sur différentes espèces d'arbres ont conduit à l'identification de trois grands principes de la conception de haies de bordure. D'abord, les essences susceptibles de servir d'hôtes à des maladies et ravageurs clefs (par exemple l'aubépine *Crataegus monogyna*, hôte du feu bactérien) sont à bannir, afin d'éviter des effets préjudiciables sur le verger et les cultures alentour. Ensuite, il faut sélectionner des essences abritant un complexe d'ennemis naturels riche et/ou abondant sur la base de références locales obtenues par des observations antérieures et de caractéristiques spé-

cifiques connues des plantes. Ainsi, les feuilles poilues sont généralement associées à une riche communauté d'arthropodes, parce que les poils offrent un abri et/ou piègent du pollen comme source de nourriture alternative (par exemple, le noisetier *Corylus avellana* sert d'hôte à un complexe d'ennemis naturels riche et abondant). Les ressources alimentaires (pollen et nectar) sont importantes pour la fécondité et la bonne santé des ennemis naturels. Enfin, les essences locales sont plus susceptibles que des essences exotiques de servir de source d'auxiliaires pour le verger. Une association d'essences dans les haies devrait fournir aux ennemis naturels une diversité d'habitats et/ou de ressources alimentaires comme le pollen, le nectar ou des proies alternatives, tout au long de l'année. Cela comprend des plantes aux feuilles sempervirentes et aux tiges creuses ou entrelacées, telles que le lierre (*Hedera helix*), comme habitat d'hivernation ; des espèces à floraison précoce, moyenne et tardive ; ainsi que des essences abritant des insectes herbivores spécifiques comme proies alternatives. Étant donné que de nombreuses essences offrent plusieurs types de ressources, une diversité « modérée » (12 espèces dans la présente étude) a suffi pour qu'il y ait plus d'une essence d'arbre assurant chaque type de ressource tout au long de l'année.

L'INRA a conclu que cette approche était efficace dans la gestion de ravageurs tels que les acariens, les psylles du poirier et certains pucerons. Cependant, d'autres moyens de (bio)contrôle devraient être utilisés conjointement à la biodiversité fonctionnelle pour lutter contre des ravageurs du type tortricidés (ex. le carpocapse *Cydia pomonella*), qui peuvent causer des dégâts importants sur fruits, même en cas de faibles taux de population. L'efficacité de la lutte biologique par conservation peut aussi être limitée parce qu'un faible nombre d'auxiliaires atteint le verger, ce qui peut être dû à une plus forte attractivité des haies et à l'usage de pesticides ; parallèlement, l'âge et la gestion des haies peuvent avoir une influence et modifier la biodiversité fonctionnelle (Simon *et al.*, 2010). Des



> MÉSANGE CHARBONNIÈRE DANS SON NID

travaux (Simon *et al.*, 2010 ; Simon, 1999) ont mis en évidence que la diversité d'arthropodes auxiliaires au sein du verger était affectée par la diversité des plantes, aussi bien à l'intérieur (dans les haies) qu'au-delà du verger (essences d'arbres dans les environs proches), démontrant que des interactions biotiques se produisent à une échelle plus vaste.

En outre, les essais d'ESTEBURG ont montré que les bordures de plantes herbacées attenantes aux vergers offrent un abri non seulement aux arthropodes auxiliaires, mais aussi à des ravageurs très nuisibles comme la punaise verte des pousses (*Lygocoris pabulinus*), responsable des malformations de fruits dans la région arboricole « Altes Land ». (Allemagne). Si seules les larves de la première génération attaquent les petits fruits de pommier durant la période de floraison et juste après, la deuxième se développe principalement sur les plantes herbacées sous ou à côté des pommiers. Des essais ont montré qu'il était plus efficace de lutter contre la punaise verte des pousses en coupant les plantes herbacées en question au moment du développement larvaire de la deuxième génération qu'en appliquant des pesticides (Mohr *et al.*, 2016). Dans certains cas, la biodiversité végétale au sein des vergers pourrait donc constituer un obstacle à la production de fruits commercialisables.

Si la lutte biologique par conservation doit être instaurée dans les vergers, des recherches plus poussées sont nécessaires pour mieux comprendre et gérer les interactions biotiques à différentes échelles spatiales. ■



> RESSOURCES D'HIVER DANS HAIES MULTIESPÈCES, INCLUANT HABITAT ET ALIMENTS, FOURNIES PAR LAURUSTINUS (VIBURNUM TINUS) À FEUILLES PERSISTANTES ET LE POLLEN DE NOISETIER



DES STRATÉGIES CHIMIQUES POUR RÉPONDRE AUX EXIGENCES EN MATIÈRE DE RÉSIDUS

Au cours de la saison, des traitements chimiques sont effectués pour lutter contre les maladies et ravageurs dans les vergers. Au fil des ans, on a observé de plus en plus d'inquiétudes concernant l'effet des produits chimiques sur les insectes auxiliaires en verger et, dans les années 1990, le concept de protection intégrée a été introduit auprès des arboriculteurs. La sélectivité des produits à l'égard des insectes auxiliaires jouait un rôle clef et de nombreux travaux de recherche avaient pour but de déterminer la sélectivité des différents produits phytosanitaires. Suite à ces travaux, plusieurs produits ont été bannis de la production fruitière et seuls les produits sélectifs étaient encore autorisés.

Au 1^{er} septembre 2008, les limites maximales de résidus sur fruits ont été harmonisées au niveau européen (règlement n° 396/2005). Cependant, depuis une dizaine d'années, il ne suffit plus de produire des fruits selon les principes de la protection intégrée. En effet, public et gouvernements manifestent une inquiétude toujours grandissante concernant les résidus et il y a une pression de plus en plus forte pour réduire les résidus sur fruits. Les distributeurs se livrent une concurrence en matière de niveaux de résidus et, dans certains cas, fixent des maxima en termes de substances actives présentes sur les fruits, avec un impact plus fort que les LMR officielles. En outre, il existe des restrictions supplémentaires



> LES POURRITURES DES POMMES :
NEOFABRAEA ALBA

pour l'exportation vers certains pays. Du coup, c'est un vrai défi d'arriver à gérer ravageurs et maladies durant la période comprise entre la fin de la floraison et la récolte. De plus, comme les fruits d'un même verger peuvent passer par des circuits de commercialisation différents, c'est un vrai casse-tête pour les arboriculteurs de définir un schéma de traitement qui réponde à l'ensemble de ces restrictions.

Afin de réduire le plus possible les résidus, des études ont été conduites par plusieurs instituts de recherche, notamment pcfruit, Laimburg, ESTEBURG (Holthusen, 2014a). Ainsi, pour les différents produits disponibles, des délais avant récolte sont déterminés afin de tenter d'atteindre la limite de détection (LD). De manière surprenante, même pour les produits classiques préventifs, il faut des délais avant récolte longs pour arriver à cette LD (recherches de pcfruit, ESTEBURG (Holthusen and Valenta 2016)). Une autre problématique, c'est l'utilisation de cocktails de traitements et l'impact sur les résidus à la récolte ; par exemple, l'emploi de surfactants et d'engrais foliaires spécifiques peut influencer le niveau de résidus à la récolte (recherches de pcfruit). Par ailleurs, les stades de culture auxquels les traitements sont appliqués, ainsi que le nombre d'applications, sont également des facteurs importants ayant une influence sur les niveaux de résidus sur fruits (pcfruit). Les résultats obtenus dans le cadre du projet FRUIT.NET, conduit en Catalogne par l'IRTA, l'association de producteurs de fruits AFRUCAT et le ministère de l'agriculture catalan (DARP), ont montré que le raisonnement des traitements pendant la culture et l'absence de traitement après récolte dans la mesure du possible permettait de réduire les résidus sur fruits. Ainsi, en 1998, avec des stratégies classiques, 85,2 % des produits appliqués en cours de culture dépassaient la LD de plus de 10 %, alors qu'en 2016, avec la stratégie FRUIT.NET, moins de 8 % des produits dépassaient la LD de plus de 10 %. Les résultats de ces programmes



> DES FRUITS SAINS ET SÛRS CORRESPONDENT
À L'ATTENTE DES CONSOMMATEURS

de recherche sont très importants et conduisent à l'élaboration de listes spécifiques de pesticides « verts » et de « directives » pour les traitements tout au long de la saison. Comme un même produit peut avoir un dosage homologué ou un nombre d'applications différents d'un pays à l'autre, il s'agit là d'un thème de recherche récurrent dans nombre de pays européens et certaines directives varient selon les pays. Par exemple, en Allemagne, la directive s'intitule « directive pour la protection intégrée maîtrisée sur fruits à pépins et à noyau ». Au Royaume-Uni, elle prend la forme d'un Guide de bonnes pratiques pour la pomme (<http://apples.ahdb.org.uk/>) rédigé par l'AHDB.

Le développement de nouveaux produits est un processus continu et les méthodes d'analyse deviennent de plus en plus précises pour la détection de faibles niveaux de résidus. En conséquence, les limites de détection changent en fonction des nouvelles méthodes d'analyse ou des nouveaux procédés d'extraction. Les recherches doivent donc se poursuivre, afin d'aider les producteurs de fruits à préserver leur moyen d'existence. ■



DES TECHNIQUES DE PULVÉRISATION INNOVANTES ET EFFICACES

De nouvelles techniques d'application innovantes sont mises en œuvre pour réduire l'émission de produits phytosanitaires dans l'environnement et minimaliser les résidus de pesticides sur fruits. Il est également possible de réduire la quantité de produit utilisée, puisque ces nouvelles techniques assurent une couverture plus homogène et plus efficace de la culture. En collaboration avec des fabricants de pulvérisateurs et l'industrie phytosanitaire, de nouvelles techniques d'application sont développées pour les cultures fruitières, fondées sur une **pulvérisation en fonction de la culture** basée sur le volume de la culture ou sur un dosage en fonction du volume des rangs, ainsi que sur une **adaptation des paramètres de pulvérisation** (tels que vitesse de l'air et type de buse).

En Allemagne, l'utilisation de pesticides dans la culture de fruits à pépins et à noyau est généralement fonction de la hauteur de la couronne des arbres. Cependant, un modèle visant à mieux adapter le volume de pulvérisation à la densité des arbres, ainsi qu'un ajustement des paramètres spécifiques au pulvérisateur (réduction pouvant atteindre 25 %), ont donné des fruits d'une qualité inférieure à celle obtenue avec une pulvérisation standard. Des



> ÉVALUATION DES PERFORMANCES DES PULVÉRISATEURS

essais sur le terrain ont été menés sur plusieurs années dans cinq vergers commerciaux. Pendant deux années sur trois, des pertes énormes dues à la tavelure sont survenues dans l'un des vergers, où le nouveau modèle avait été utilisé. Bien qu'il n'y ait pas eu d'augmentation globale des dégâts, le risque potentiel pour la production était clairement plus élevé en cas de réduction du volume de pulvérisation. L'augmen-

tation du risque de dégâts était disproportionnée par rapport à la réduction potentielle du volume de pulvérisation ; une telle réduction ne saurait donc être recommandée pour une production commerciale de fruits (Huhs *et al.*, 2014 ; Huhs, 2015).

Dans une autre approche, des pulvérisateurs équipés de capteurs pour détecter les « trous » dans et entre les arbres ont été testés. Dès qu'un trou était détecté, une ou plusieurs buses se fermaient, permettant d'économiser jusqu'à 69 % du volume pulvérisé selon la forme, la densité et le stade de développement des arbres (Kämpfer *et al.*, 2014). Les essais en vergers commerciaux ont toutefois entraîné une hausse excessive des infections par la tavelure, au moins sur l'un des sites, alors que la réduction du volume pulvérisé était inférieure à 10 %. Là encore, le système a fonctionné dans l'un des deux vergers tests, mais avec une augmentation disproportionnée du risque de pertes de fruits, qui l'empêche de pouvoir être conseillé dans des productions fruitières commerciales (Huhs *et al.*, 2018).

Malgré quelques résultats négatifs, si elles sont testées et mises en œuvre correctement, ces nouvelles techniques



> DES PULVÉRISATEURS « TUNNEL » POUR RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DANS L'ENVIRONNEMENT



> LA PULVÉRISATION FIXE SUR LA FRONDAISON DES POMMIERS A ÉTÉ DÉVELOPPÉE PAR LE CTIFL DANS LE PROJET PULVEFIX

permettent de réduire de manière significative les émissions dans l'environnement et l'exposition des personnes présentes ou habitant dans le voisinage, tout en conservant un niveau élevé d'efficacité biologique, et elles évitent les surdosages sur feuilles et fruits. Ces objectifs sont atteints par le biais d'une association entre technologie et baisse de la quantité de produit appliquée. Il est estimé que cela se traduira par le classement de ces techniques d'application dans des catégories de forte réduction de dérive d'au moins 95 %.

Cependant, on manque encore de connaissances sur le processus de dépôt du produit pulvérisé au sein de la canopée, ainsi que sur l'effet des différents systèmes de pulvérisation. C'est pourquoi il est nécessaire d'avoir une meilleure compréhension entre le dosage apporté par unité de surface au sol et celui déposé sur les feuilles. Cette méthode prendra en compte des paramètres dimensionnels du verger, tels que les modèles basés sur la hauteur de la canopée (« Crown Height »), le volume foliaire à traiter par hectare (« Tree Row Volume »), la densité des arbres (« Tree Row Density »), la surface foliaire à traiter par hectare (« Leaf Wall Area »), ainsi que des modèles fondés sur des grilles croisant les différents indicateurs de

la végétation (stades BBCH, largeur et hauteur de la canopée). Cela devrait se traduire par un plus petit volume pulvérisé (dose plus faible) et éviter la surpulvérisation d'une culture, minimalisant ainsi le risque de taux élevés de résidus de pesticides sur les fruits.

En France, par exemple, l'utilisation du modèle « Leaf Wall Area » (surface foliaire à traiter par hectare) a permis de réduire l'emploi de produits phytosanitaires de 1 à 22 %, avec une qualité à la récolte identique à celle obtenue pour les fruits de la parcelle de référence traitée à pleine dose (Verpont, Le Maguet, Bellevaux, 2018). Le modèle fondé sur des grilles, également évalué dans le cadre du projet français PulvArbo, paraît très intéressant (8 à 26 % de réduction de l'utilisation de produit phytosanitaire). Arriver à réduire l'emploi de pesticides par des techniques d'application efficaces est une chose, rendre cette réduction possible au niveau des arboriculteurs en est une autre. L'adoption de ces évolutions des pratiques passera par l'information, la sensibilisation et la formation des différents acteurs.

En plus de l'adaptation des systèmes de pulvérisation, il est possible d'ajuster le système de conduite du verger. Des recherches sont en cours sur des murs fruitiers 2D, qui facilitent la taille,

l'éclaircissage et la récolte mécaniques. Avec ce système de conduite, la canopée est plus homogène et moins profonde. La dérive et les résidus devraient pouvoir être réduits à des niveaux plus importants qu'avec une conduite en fuseau.

Une autre approche est le recours à un **système de pulvérisation fixe** : prenant en compte les évolutions réglementaires et sociétales, les actions du projet français PulVéFix ont pour but d'étudier une méthode novatrice d'application de produits phytosanitaires, utilisant un système fixe sur frondaion équipé de micro-asperseurs, testé dans un premier temps en vergers de pommier. Outre le développement d'un prototype optimisé, efficace et durable, ce projet vise à évaluer la technique en termes de performances agronomiques, environnementales et économiques. Les premiers résultats sont très encourageants et, même si la qualité d'application (homogénéité des dépôts) reste à optimiser, l'efficacité contre les maladies et ravageurs est bonne. Cette nouvelle méthode d'application de pesticides aura un très gros impact sur la réduction de la dérive : des essais de dérive menés en 2018 par le CTIFL ont montré une réduction de la dérive de plus de 95 % à 5 mètres (et plus aucune dérive à 10, 30, 40 et 50 mètres du dernier rang du verger). ■



> LA RÉDUCTION DE LA DÉRIVE PAR DES TRAITEMENTS AU VERGER AVEC DES PULVÉRISATEURS INNOVANTS

© Himrich Holthusen



ESSAIS LONGUE DURÉE VISANT À RÉDUIRE L'UTILISATION DE PESTICIDES

Les fruits doivent être protégés contre une série de maladies et ravageurs, ce qui est impossible avec une seule technique. Différentes approches sont mises en œuvre, telles que l'utilisation de mesures prophylactiques, d'insectes auxiliaires, d'interventions mécaniques, de produits de biocontrôle et de variétés peu sensibles. Malgré l'implémentation de ces mesures en production fruitière intégrée (PFI), l'emploi de pesticides demeure nécessaire. En effet, les exigences qualitatives du marché ne cessent de croître, et le risque de pertes économiques considérables est trop grand pour abandonner le recours aux pesticides. Or, cela va à l'encontre des attentes des consommateurs, qui souhaitent des fruits sans résidus et une utilisation minimale de pesticides. Les États membres de l'UE doivent mettre en place des conditions permettant de promouvoir des stratégies de lutte contre les ravageurs nécessitant peu de pesticides ; les instituts de recherche appliquée pourraient jouer un rôle important dans le transfert de stratégies de lutte innovantes vers le terrain. Des essais longue durée, associant différentes techniques alternatives, permettent de comparer les performances agronomiques et la faisabilité économique de ces stratégies par rapport aux pratiques des arboriculteurs. Plusieurs partenaires du projet EUFRUIT ont mis en place de tels essais. Des réunions du EUFRUIT Work Package et la plate-forme de connaissances ont été utilisées pour échanger des résultats entre chercheurs, conseillers et producteurs de différents pays.

Des expérimentations longue durée de systèmes peuvent être utilisées pour évaluer l'efficacité de différentes associations de méthodes dans la lutte contre des ravageurs des cultures, avec pour objectif de réduire l'emploi de pesticides, tout en maintenant les rendements. Le verger BioREco (2005-2015) était la première expérimentation de système d'arboriculture en France à adopter une telle approche et à étudier la lutte contre



> DES ESSAIS LONGUE DURÉE POUR ÉVALUER LA COMBINAISON DE TECHNIQUES ALTERNATIVES AUX PESTICIDES: VUE DU SYSTÈME EXPÉRIMENTAL BIORECO EN VERGER DE POMMIER

© INRA

les principaux ravageurs et maladies sur pommier, à savoir la tavelure (*Venturia inaequalis*), le carpocapse (*Cydia pomonella*) et l'oïdium (*Podosphaera leucotricha*) (Simon *et al.*, 2017 ; Simon *et al.*, 2011). Trois systèmes (Conventionnel, CONV ; Bas niveau d'Intrants, BI ; Biologique, AB) ont été plantés avec trois variétés de pommier ayant des niveaux de sensibilité différente (Smoothie, une variété de type Golden Delicious sensible à la tavelure, Ariane, une variété résistante à la tavelure, et Melrose, une variété peu sensible), utilisées dans chacun des systèmes (c'est-à-dire 9 parcelles en tout). Différentes façons de limiter l'emploi de pesticides étaient utilisées en fonction des systèmes. Aussi bien les processus passant par la plante (à travers le choix de la variété, la conduite de l'arbre, la fertilisation et l'irrigation raisonnées) que ceux passant par les insectes auxiliaires (à travers l'utilisation de pesticides sélectifs et la réduction de la fréquence de tonte des bandes enherbées) ont été étudiés. Parmi les mesures directes, il y avait des pratiques d'assainissement, ainsi que des méthodes alternatives aux pesticides de synthèse, telles que le désherbage mécanique, la confusion sexuelle, la lutte

microbiologique et biologique utilisant respectivement le virus de la granulose et des nématodes entomopathogènes contre le carpocapse. Enfin, une évaluation pointue du risque de dégâts sur fruits a été réalisée dans les parcelles sur la base des prévisions et conditions météorologiques, des observations en verger, ainsi qu'en utilisant des modèles de prévision de risques de dégâts (tavelure, carpocapse).

Par rapport à la référence régionale, il a été possible de réduire l'utilisation de pesticides de 38 à 45 % en moyenne, en associant une variété peu sensible ou résistante à la maladie, des alternatives aux pesticides et une évaluation accrue du risque de dégâts sur fruits. Une telle réduction a été obtenue sans perte de rendement avec les systèmes BI et CONV. Le rendement était plus faible avec le système AB, où les dégâts sur fruits sont susceptibles d'être plus importants. L'abondance et la diversité des communautés biologiques étudiées (lombrics, forficules, araignées) variaient selon le système et l'année. D'une manière plus générale, l'impact environnemental des systèmes était réduit par la diminution de l'emploi de pesticides. Les



> LE PROJET ECOPHYTO CONDUIT AU CTIFL ENTRE 2012 ET 2017 ASSOCIÉ BÂCHES ANTIPLUIE ET FILET ALT'CARPO

coûts de production étaient plus élevés dans les systèmes BI et AB qu'en CONV, mais sans en retirer un prix plus avantageux en BI. Enfin, l'implémentation du système BI nécessitait un contexte et un accès à l'information spécifiques. Cette évaluation multicritère (Simon *et al.*, 2011 ; Alaphilippe *et al.*, 2013) a mis en évidence les forces et les limites des systèmes expérimentés. Elle a également souligné les choix décisifs à faire au moment de la plantation, notamment le choix de la variété, ainsi que l'importance d'associer plusieurs méthodes alternatives pour lutter contre les bioagresseurs et d'adapter les pratiques culturales aux conditions biotiques et abiotiques en utilisant des outils de suivi du verger et d'aide à la décision (Simon *et al.*, 2017 ; Alaphilippe *et al.*, 2013).

Par ailleurs, en France, un réseau national visant à réduire l'emploi de pesticides dans les vergers de pommier a démarré en 2012 dans le cadre du projet Ecophyto. Il s'agissait d'évaluer 27 systèmes situés dans six régions différentes sur une période de six années. Par un système, on entend un verger où différents produits, techniques et stratégies sont associés pour réduire l'emploi de pesticides. Sur

chaque site, les systèmes à faible niveau d'intrants sont comparés à un verger de référence aux pratiques conventionnelles. En moyenne, entre 2013 et 2017, la stratégie à bas intrants a permis une réduction de l'Indice de fréquence de traitement (IFT) global dans les proportions suivantes :

- maximum 40 % de réduction avec une variété sensible à la tavelure, où certains

traitements ont pu être évités pendant la première et la deuxième période de contamination tavelure, en combinaison avec la confusion sexuelle et des produits de biocontrôle (faible pression de carpocapse), ainsi que des traitements raisonnés contre les pucerons ;

- plus de 58 % de réduction avec une variété sensible à la tavelure, en utilisant une bâche antipluie contre la tavelure, en association avec la confusion sexuelle et différents types d'insecticides (chimiques et agent de biocontrôle) ou avec un filet anti-insectes Alt'Carpo et un emploi limité d'insecticides complémentaires contre le carpocapse (pression faible). Un même niveau de réduction était obtenu en adaptant le dosage de chaque produit au volume et au stade des arbres. Dans tous les cas, la protection contre les pucerons était modulée en fonction de sa pression ;

- entre 55 et 65 % de réduction avec une variété résistante à la tavelure, où la principale protection contre la tavelure consistait en l'utilisation de produits naturels, en association avec des filets Alt'Carpo et/ou la confusion sexuelle, en fonction de la pression de carpocapse ;

- plus de 75 % avec une variété résistante à la tavelure, cultivée dans un sys-



> BANDES FLEURIÉES ET HAIES EN BORDURE DES VERGERS POUR DÉVELOPPER LES INSECTES AUXILIAIRES



© Agroscope

> SUR LA PARTIE DROITE, VERGER DE POMMIER EXPÉRIMENTAL COUVERT D'UN FILET PARAGRÊLE COMBINÉ AVEC DES FILETS ANTI-INSECTES SUR LES CÔTÉS

tème de production biologique ou avec une modulation des doses de produits conventionnels, les deux modalités en association avec des filets Alt'Carpo ou la confusion sexuelle (Zavagli *et al.*, 2018). En Allemagne septentrionale, des programmes régionaux visant une réduction de pesticides et de résidus ont été lancés en 2009. Cinq systèmes différents de protection phytosanitaire ont été évalués pendant cinq années. Ils étaient axés sur la prévention de résidus de pesticides détectables à la récolte. Le nombre de résidus détectables a pu être réduit à 1,4 lorsqu'il n'y avait plus aucun traitement après floraison, ou alors uniquement avec des pesticides biologiques, contre 3,3 résidus de pesticides détectables lorsque des pesticides de synthèse étaient utilisés jusqu'à la récolte. Dans les cas où aucun traitement chimique n'avait été appliqué après la floraison, les pertes de fruits étaient importantes au bout de 5 mois en chambre froide (plus de 40 % du fait de maladies de conservation). L'application post-floraison de fongicides autorisés en agriculture biologique a permis de réduire les pertes de fruits de plus de 60 %, tandis qu'avec l'emploi de fongicides de synthèse, la réduction des pertes pouvait atteindre 70 % (Holthusen 2014a).

En Suisse, sur une période de neuf ans, Agroscope a testé une stratégie de protection à faibles résidus sur pommier, avec pour objectif de réaliser des rendements comparables à ceux obtenus en production intégrée, une production sans résidus sur fruits. Cette stratégie à Faibles résidus (FR) était comparée à la Production fruitière intégrée (PFI) et la production biologique (AB). Les facteurs de durabilité économique ont été évalués afin de comparer les trois stratégies. Avec les programmes de protection phytosanitaire, fertilisation et éclaircissage choisis pour la stratégie FR, il a été possible, même pour des variétés sensibles comme Golden Delicious, d'arriver à des rendements comparables à ceux de la stratégie PFI. Cependant, dans la stratégie FR, le volume commercialisable était inférieur de 10 % pour Golden Delicious et même de 20 % pour Topaz par rapport à la stratégie PFI. Toutes les variétés ont subi des pertes significatives en raison de maladies de conservation (principalement des gloeosporioses) dans les stratégies FR et AB. L'évaluation a montré que le volume commercialisable plus bas dans la modalité FR compromet la rentabilité. En effet, contrairement à ce qui se passe pour la stratégie AB, le plus

faible rendement et le risque plus élevé à la production en FR ne sont pas compensés par un prix plus élevé. Un prix plus élevé pour les fruits produits en système à faibles résidus pourrait se justifier pas les avantages pour l'environnement. Les résultats ont montré qu'en optant pour une variété adaptée, il devrait être possible d'augmenter le volume commercialisable après conservation et de diminuer les pertes, de manière à améliorer les revenus et, par-là, la durabilité économique (Goelles *et al.*, 2015).

En Catalogne (Espagne), depuis 2011, le projet FRUIT.NET, mené en collaboration entre le ministère de l'agriculture de la région, l'IRTA et la filière fruits, vise à optimiser l'emploi de pesticides et à minimaliser les résidus sur pomme, poire, pêche et agrumes. Dans le cas des pommes, le projet est basé sur les modèles de prévision du risque de tavelure, sur la priorité à l'utilisation de méthodes alternatives (confusion sexuelle, piègeages de masse) plutôt que des produits chimiques, ainsi que sur le non-recours, proche de la récolte, aux traitements dont les substances actives ont une rémanence longue. Les résultats du programme sont prometteurs : sur pommier, l'emploi d'insecticides a été réduit jusqu'à 35 % et l'utilisation de fongicides de 24 %, donnant ainsi de faibles résidus sur fruits à la récolte (moins de 20 % des LMR).

Les chercheurs d'EUFROID pensent qu'il est possible de réduire l'emploi de pesticides en optimisant l'association et l'application de produits et technologies alternatifs. Ainsi, certains des essais « longue durée » décrits plus haut contiennent de mettre en place de nouvelles méthodes. De nouveaux vergers de démonstration sont plantés, comme ceux d'un projet Interreg dans la région du lac de Constance. Ces essais conduiront à des recommandations pratiques pour les producteurs et montreront aux distributeurs et aux consommateurs des systèmes de production fruitière respectueux de l'environnement. ■



REFERENCES

Productions fruitières et résidus de pesticides

Andersen, J.H., Petersen, A.P., Jensen, B.H. and Jensen, L.G.H. 2016. Pesticider I frug og grøntsager 2010-2014. DTU rapport 36pp.

Larsson, M.O., Nielsen, V.S., Bjerre, N., Laporte, F. and Cedergreen, N. 2018. Refined assessment and perspectives on the cumulative risk resulting from the dietary exposure to pesticide residues in the Danish population. *Food and Chemical Toxicology* 111: 207-267

QS Fachgesellschaft Obst-Gemüse-Kartoffeln GmbH and DFHV D deutscher Fruchthandelsverband e.V. 2016. Monitoringreport Issue 2016. <https://www.q-s.de/services/files/mediocenter/publikationen/MonitoringReport-2016-EN.pdf>

QS Fachgesellschaft Obst-Gemüse-Kartoffeln GmbH and DFHV D deutscher Fruchthandelsverband e.V. 2017. Monitoringreport Issue 2017. <https://www.q-s.de/services/files/mediocenter/publikationen/MonitoringReport-2017-EN.pdf>

QS Fachgesellschaft Obst-Gemüse-Kartoffeln GmbH and DFHV D deutscher Fruchthandelsverband e.V. 2018. Monitoringreport Issue 2018. <https://www.q-s.de/services/files/mediocenter/publikationen/MonitoringReport-2018-EN.pdf> Reiss, R., Johnston, J., Tucker, K., DeSesso, J.M. and Keen, C.L. 2012. Estimation of cancer risks and benefits associated with a potential increased consumption of fruit and vegetables. *Food and Chemical Toxicology* 50: 4421-4427.

Utilisation d'agents de biocontrôle contre maladies et ravageurs

Cabrefiga, J., Francés, J., Montesinos, E., Bonaterra, A. (2014). Improvement of a dry formulation of *Pseudomonas fluorescens* EPS62e for fire blight disease biocontrol by combination of culture osmoadaptation with a freeze-drying lyoprotectant. *Journal of Applied Microbiology*, 117 (4), pp. 1122-1131.

Cock, M.J.W., van Lenteren J.C., Brodeur J., Barratt B.I.P., Bigler F, Bolckmans K, Cônsoli F.L., Haas F, Mason, P.G., Parra J.R.P. (2010) Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? *Biological Control*;55:199-218.

Daranas, N., Bonaterra, A., Francés, J., Cabrefiga, J., Montesinos, E., Badosa,

E. (2018). Monitoring viable cells of the biological control agent *Lactobacillus plantarum* PM411 in aerial plant surfaces by means of a strain-specific viability quantitative PCR method. *Applied and Environmental Microbiology*, 84 (10), art. no. e00107-18.

DeBach, P. (1964). *Biological control of insect pests and weeds*, Paul DeBach, ed. Reinhold. New York. US. 1964. 844 p.

Eilenberg J, Hajek A, Lomer C. (2001) Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*. 46: 387-400.

Fira, D., Dimkić, I., Berić, T., Lozo, J., Stanković, S. (2018). Biological control of plant pathogens by *Bacillus* species. *Journal of Biotechnology*, 285, pp. 44-55.

Holthusen, H.H.F. (2014a) Strategien zur Minimierung von Pflanzenschutzmittel-Rückständen im Kernobst. *Mitteilungen Obstbauversuchsringes Alten Landes* 69: 121-130.

Holthusen, H.H.F. (2014b) Pflanzenschutzmittel-Rückstandssituation an der Niederelbe und Minimierungsstrategien. *Obstbau* 39: 392-398.

Lorito, M., Woo, S. L., Harman, G. E., Monte, E. (2010). Translational research on *Trichoderma*: from omics to the field. *Annu Rev. Phytopathol* 48, 395-417.

Mendes, R., Kruijt, M., De Bruijn, I., Dekkers, E., van Der Voort, M., Schneider, J.H.M., Piceno, Y.M., DeSantis, T.Z., Andersen, G.L., Bakker, P.A.H.M., Raaijmakers, J.M. (2011) Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria. *Science* 332:1097-1100

Parnell, J.J., Berka, R., Young, H.A., Sturino, J.M., Kang, Y., Barnhart, D.M., DiLeo, M.V. (2016) From the lab to the farm: an industrial perspective of plant beneficial microorganisms. *Front Plant Sci* 7:1110.

van Lenteren J.C, Godfray H.C.J (2005) European science in the Enlightenment and the discovery of the insect parasitoid life cycle in The Netherlands and Great Britain. *Biol Control* 32:12-24.

van Lenteren, J.C. (2012) The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *Biocontrol*. 57(1):1-20.

van Lenteren, J.C., Bolckmans, K., Köhl, J. Ravensberg, W.J., Urbaneja, A. (2018) Biological control using invertebrates and microorga-

nisms: plenty of new opportunities. *BioControl*.63(1):39-59.

Weller, D.M., Raaijmakers, J.M., McSpadden Gardener, B.B., Thomashow, L.S. (2002) Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annu Rev Phytopathol* 40:309-348.

Produits naturels en protection des cultures

Jamar L., Cavalier M., Lateur M. 2010. Primary scab control using a during-infection spray timing and the effect on fruit quality and yield in organic apple production. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14(3), 423-439

Kelderer M., Casera C., Tamm L., Schmitt A., Parveaud C.E. 2016. Open-field trials for the control of apple scab conducted within the FP 7 Project CO-FREE in Italy and France. *Proceedings of the 17th International Conference on Organic Fruit - Growing 15- 17 February, University of Hohenheim, Germany, 32-44.*

Kelderer M., Casera C., Lardschneider E. La Torre A. 2010. Preventative and curative applications of carbonates against apple scab (*Venturia inaequalis*) in organic apple orchards. 14th International Conference in Organic Fruit-Growing - Eco-fruit, Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e. V. Weinsberg, Stuttgart, Deutschland, 52-60

Trautmann, M. 2016. Bekämpfung von „GRÜNEN LÄUSEN“ im Sommer. *Veränderungen stehen an! Obstbau* 41: 343-347.

Médiateurs chimiques, attractants

Brockerhoff, E. G., Suckling, D. M., Kimberly, M., Richardson, B., Coker, G., et. al. (2012). Aerial application of pheromones for mating disruption of an invasive moth as a potential eradication tool. *PLOS ONE*, V. 7 (8), 1-8.

Gut, L. J. and Brunner, J. F. (1998), Pheromone-based management of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Washington apple orchards. *J. Agric. Entomol.* 15, 387-405.

Ioriatti, C. and Lucchi, A. (2016). Semiochemical strategies for tortricid moth control in apple orchards and vineyards in Italy. *J. Chem. Ecol.* 42 (7), 571-583.

Jones, V. P., Hilton, R., Brunner, J. F., Bentley, W. J., Alston, D. G., et al. (2013). Predicting the emergence of the codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae), on a de-



REFERENCES

gree-day scale in North America, *Pest Manag. Sci.* doi: 10.1002/ps.3519

Judd, G. J. R. and Gardiner, M. G. T. (2006a), Simultaneous disruption of pheromone communication and mating in *Cydia pomonella*, *Choristoneura rosaceana*, and *Pandemis limitata* (Lepidoptera: Tortricidae) using Isomate-CM/LR in apple orchards, *J. Entomol. Soc. Brit. Columbia* 101, 3-13.

Knight, A. (1995), The impact of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) mating disruption on apple pest management in Yakima Valley, Washington, *J. Entomol. Soc. Brit. Columbia* 92, 29-38.

Knight, A. L. (2007c), Adjusting the phenology model of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Washington state apple orchards, *Environ. Entomol.* 36 (6), 1485-1493.

Knight, A. L. (2010a), Targeting *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae) adults with low-volume applications of insecticides alone and in combination with sex pheromone, *Pest Manage. Sci.* 66, 709-717.

Knight, A. L.; Light, D. M. (2012), Monitoring codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in sex pheromone-treated orchards with (E)-4,8-dimethyl-1,3,7-nonatriene or pear ester in combination with codlemone and acetic acid, *Environ. Entomol.* 41, 407-414.

Knight, A. L., Howell, J. F., McDonough, and Weiss, M. (1995), Mating disruption of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with polyethylene tube dispensers: determining emission rates and the distribution of fruit injuries, *J. Agric. Entomol.* 12(2), 85-100.

Knight, A. L., Croft, B. A. and Bloem, K. A. (1999), Effect of mating disruption dispenser placement on trap performance for monitoring codling moth (Lepidoptera: Tortricidae), *J. Entomol. Soc. Brit. Columbia* 96, 95-102.

Lo, P. L., Walker, J. T. S., Horner, R. M. and Hedderley, D. I. (2013), Development of multiple species mating disruption to control codling moth and leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae), in New Zealand, *Plant Protec.* 66, 264-269.

McGhee, P. S., Epstein, D. L. and Gut, L. J. (2011), Quantifying the benefits of areawide pheromone mating disruption programs that target codling moth (Lepidoptera: Tortricidae), *Amer. Entomol.* 57 (2) 93-100.

Padilha, A. C., Arioli, C. J., Boff, M. I. C., Rosa, J. M. and Botton, M. (2017),

Traps and baits for luring *Grapholita molesta* (Busck) adults in mating disruption-treated apple orchards, *Neotrop. Entomol.* Doi: 10.1007/s13744-017-0517-z.

Riedl, H., Croft, B. A., and Howitt, A. J. (1976), Forecasting codling moth phenology based on pheromone trap catches and physiological time models. *Can. Entomol.* 108, 449-460.

Saville, R., Fountain, M., Jay, C., Berrie, A., Cannon, M., Pasey, T., Brain, P., Nicholson, C., Newman, S., Hall, D., Farman, D., and Jackson, R. (2018) Improving integrated pest and disease management in tree fruit. AHDB Horticulture Annual Report project TF 223

Stelinski, L. L., Gut, L. J., Haas, M., McGhee, P. and Epstein, D. (2007), Evaluation of aerosol devices for simultaneous disruption of sex pheromone communication in *Cydia pomonella* and *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae), *J. Pest Sci.* 80, 225-233.

Stelinski, L. L., Il'ichev, A. L. and Gut, L. J. (2009), Efficacy and release rate of reservoir pheromone dispensers for simultaneous mating disruption of codling moth and oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae), *J. Econ. Entomol.* 102(91), 315-323.

Walker, K. R. and Welter, S. C. (2001), Potential for outbreaks of leafrollers (Lepidoptera: Tortricidae) in California apple orchards using mating disruption for codling moth suppression, *J. Econ. Entomol.* 94 (2), 373-380.

Solutions alternatives aux traitements post-récolte

Ambaw, A., Dekeyser, D., Vanwalleghem, T., van Hemelrijck, W., Nuyttens, D., Delele, M. A., Ramon, H., Nicolai, B., Opara, U. L., Verboven, P. (2017). Experimental and numerical analysis of the spray application on apple fruit in a bin for postharvest treatments. *Journal of Food Engineering* 202: 34-45.

Bertolini, P., Folchi, A. (2016). Evoluzione dei residui di agrofarmaci nella filiera postraccolta (Evolution of agrochemical residues in postharvest chain) in P. Battilani editor *Difesa sostenibile delle colture*, Edagricole, pp. 314-319.

Edelenbos, M., Holthusen, H. (2018) Hot water treatment (HWT) of fresh produce to prolong shelf life and reduce losses and waste. Speech at: *Fruite Symposium 2018 at Fruit Logistica*, Potsdam, 6th February 2018. http://orgprints.org/33116/1/55_FRUTIC%202018%20-%20Me-

[rete%20Edelenbos.pdf](#)

Giraud, M., & Bompeix, G. (2012). Postharvest diseases of pome fruits in Europe: Perspective for integrated control. *IOBC WPRS Bull.* 84, 257-263.

Holthusen, H.H.F. (2014a) Strategien zur Minimierung von Pflanzenschutzmittel-Rückständen im Kernobst. *Mitteilungen Obstbauversuchsrings Alten Landes* 69: 121-130.

Holthusen, H.H.F. (2014b) Pflanzenschutzmittel-Rückstandssituation an der Niederelbe und Minimierungsstrategien. *Obstbau* 39: 392-398.

Luro, S., Landry, P., Diop, A., Ducharme, R. (2018). Lutte contre les Monilioses sur pêche. Une machine de douchage à l'eau chaude. *Infos Ctifl N° 341*, p. 38-43.

Mathieu-Hurtiger, V. (2016). Évaluation et mise au point de méthodes alternatives aux traitements chimiques après-récolte permettant de lutter contre l'échaudure de prématurité des pommes sans dégradation de la qualité. In *Colloque RECHERCHE* (p. 73).

Mathieu-Hurtiger V., Bony P., Aubert C., Vaysse P., Coureau C., Tessier C., Westercamp P., Monteils C. (2014). Impact des méthodes post-récolte sur la qualité des pommes. AC dynamique, élimination de l'éthylène et trempage à l'eau chaude. *Infos Ctifl N° 341*, p. 38-43.

Maxin, P., Weber, R.W.S., Pedersen, H.L., Williams, M. (2012a). Hot-water dipping of apples to control *Penicillium expansum*, *Neonectria galligena* and *Botrytis cinerea*: Effects of temperature on spore germination and fruit rots. *Eur J Horti Sci* 77: 1-9.

Maxin, P., Weber, R.W.S., Pedersen, H.L., Williams, M. (2012b). Control of a wide range of storage rots in naturally infected apples by hot-water dipping and rinsing. *Postharvest Biol Technol* 70: 25-31. doi: 10.1016/j.postharvbio.2012.04.001

Maxin, P., Williams, M., Weber, R.W.S. (2014). Control of fungal storage rots of apples by hot-water treatments: a Northern European perspective. *Erwerbs-Obstbau* 56: 25-34 . doi: 10.1007/s10341-014-0200-z.

Regis, A. (2012). Etudes de moyens permettant de diminuer la pression des produits phytosanitaires employés contre les maladies fongiques en verger de pommiers. *Mémoire d'Ingénieur*, p.81.



REFERENCES

Barrières physiques

Bertelsen M. and Lindhard Pedersen H. (2014). Preliminary results show rain roofs to have remarkable effect on diseases of apple. *Proceedings of the 16th International Conference on Organic Fruit-Growing 2014*, 242-244.

Boschiero M., Casera C., Kelderer M. (2018). Carbon footprint of innovative plastic covers used as insect and pest control system in organic apple orchards. *Proceedings of the 18th International Conference on Organic Fruit-Growing 2018*, 71-77.

Kelderer M., Casera C., Lardschneider E., Rainer A. (2010). Controlling codling moth with different netting structures and their influence on crop yield and quality. *Proceedings of the 14th International Conference on Organic Fruit-Growing 2010*, 183-190.

Kelderer M., Casera C., Lardschneider E., Telfser J. (2018). Field trials in apple orchards with different covering methods to reduce plant protection treatments and yield losses due to pests and diseases. *Proceedings of the 18th International Conference on Organic Fruit-Growing 2018*, 64-70.

Romet L., Severac G., Warlop F. (2010). Overview of 'ALTCARPO' concept and its development in France. *Proceedings of the 14th International Conference on Organic Fruit-Growing 2010*, 176-182.

Zavagli F., 2016. Réduction d'emploi des produits phytosanitaires. Couvrir les pommes avec une bâche anti-pluie. *Info Ctif n° 322*, p48-54.

Biodiversité

Mohr, D., Lindstaedt, J., Eckhoff, H., Weber, R.W.S. (2016) Befallskontrolle der Grünen Futterwanze durch Ausmähen krautiger Pflanzen. *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes 71*: 335-340.

Simon, S., Bouvier, J.C., Debras, J.F. & Sauphanor, B. Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development 30*, 139-152 (2010).

Simon, S., Sauphanor, B., Defrance, H. & Lauri, P.E. Manipulations des habitats du verger biologique et de son environnement pour le contrôle des bio-agresseurs. *Des éléments pour la modulation des relations arbre-ravageurs-auxiliaires. Innovations Agronomiques 4*, 125-134 (2009).

Simon, S. Thesis in Biologie des populations et écologie (Université de Montpellier 2., Montpellier; 1999) Inci-

dence de l'environnement végétal sur les populations d'arthropodes du verger de poiriers. 438p.

Stratégies chimiques

Holthusen, H.H.F. (2014a) Strategien zur Minimierung von Pflanzenschutzmittel-Rückständen im Kernobst. *Mitteilungen Obstbauversuchsrings Alten Landes 69*: 121-130.

Holthusen, H., Valenta, M. (2016) Rückstandsreduzierte Apfelproduktion. *gartenbauprofi 5-16*: 14-15.

Pulvérisation

Huhs, J., Görgens, M., Holthusen, H.H.F., Ralfs, J.-P., Pelzer, T., 2014. Auswirkungen einer Reduzierung der Pflanzenschutzmittel-Aufwandmenge in der Obstbaupraxis (Consequences by reducing the amount of applied plant protection product in fruit growing). *Book of Abstracts of the 59th Deutsche Pflanzenschutztagung «Forschen – Wissen – Pflanzen schützen: Ernährung sichern!», 23-26 September 2014, Freiburg, Germany.* <https://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.woa/wo/J5GpOM1ZZtJtfZ3LK-9S4n0/3.7.1.10.17.1.1.3.3.5.3.0.3.7.3>.

Huhs, J., 2015. Entwicklung eines innovativen Modells zur Anpassung der Pflanzenschutzmittel-Aufwandmenge an die Applikationsbedingungen in der Obstbaupraxis : Akronym: ProFrucht : Laufzeit des Vorhabens: 01.03.2012-31.12.2014. <https://doi.org/10.2314/GBV:858989743>.

Huhs, J., Görgens, M., Overbeck, V., Pelzer, T., 2018. Weiterentwicklung einer Lückenschaltung für Sprühgeräte. *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes 73*: 356-364.

Kämpfer, C., Huhs, J., Ralfs, J.-P., Görgens, M., Pelzer, T., 2014. Untersuchung zur Mittelleinsparung durch eine optimierte Lückenschaltung (Investigation on pesticide savings due to optimized gap detection and switching system). *Book of Abstracts of the 59th Deutsche Pflanzenschutztagung «Forschen – Wissen – Pflanzen schützen: Ernährung sichern!», 23-26 September 2014, Freiburg, Germany.* <https://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.woa/wo/J5GpOM1ZZtJtfZ3LK-9S4n0/3.7.1.10.17.1.1.3.3.5.3.0.3.7.3>.

Verpont, Le Maguet, Bellevaux, 2018. Adaptation des doses en arboriculture Fruitière : quels scénarios possibles ? *Annales Colloques AFPP CIETAP, Lyon, 13-14/03/18*.

Wenneker, M., Michielsen, J.M.P.G., Stallinga, H., Velde, van P., Dalfsen, van P., Zande, van de J.C., 2017. Improving spray deposition in orchard spraying by a Munckhof multiple row sprayer. *Book of Abstracts of the 14th Workshop on Spray Application in Fruit Growing, 10-12 May, Hasselt, Belgium: 25-26*.

Michielsen, J.M.P.G., Stallinga, H., Velde, van P., Dalfsen, van P., Wenneker, M., Zande, van de J.C., 2017. Spray deposition and distribution of a cross-flow fan orchard sprayer in spindle apple trees. *Book of Abstracts of the 14th Workshop on Spray Application in Fruit Growing, 10-12 May, Hasselt, Belgium: 21-22*.

Wenneker, M., 2017. Effective spray drift reduction in fruit growing by the use of coarse droplet spray applications. *Book of Abstracts of the 11th IOBC-WPRS Workshop on Pome Fruit Diseases, 27-30 June 2017, Jurmala, Latvia*.

Essais longue durée

Alaphilippe, A., Simon, S., Brun, L., Hayer, F. & Gaillard, G. Life cycle analysis reveals higher agroecological benefits of organic and low-input apple production. *Agronomy for Sustainable Development 33*, 581-592 (2013).

Goelles M., Bravin E., Kuske S., Naef A. Challenges of the residue-free apple production. *Agrarforschung Schweiz 6(1)*, 12-19, 2015

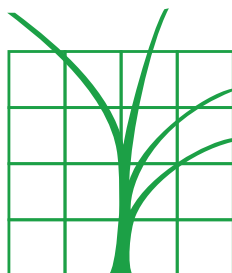
Holthusen, H.H.F. (2014a) Strategien zur Minimierung von Pflanzenschutzmittel-Rückständen im Kernobst. *Mitteilungen Obstbauversuchsrings Alten Landes 69*: 121-130.

Simon, S., Lesueur-Jannoyer, M., Plénet, D., Lauri, P.-É. & Le Bellec, F. Methodology to design agroecological orchards: Learnings from on-station and on-farm experiences. *European Journal of Agronomy 82*, 320-330 (2017).

Simon, S., Brun, L., Guinaudeau, J. & Sauphanor, B. Pesticide use in current and innovative apple orchard systems. *Agronomy for Sustainable Development 31*, 541-555 (2011).

Zavagli F., Alison B., Ballion S., Bellevaux C., Favareille J., Giraud M., Le Berre F., Lesniak V., Sagnes JL., Verpont F. Réduire l'emploi des produits phytosanitaires en verger de pommier. *Les enseignements du réseau national EXPE Ecophyto Pomme. Projet DEPHY 2012 - 2017. In press Revue Innovations Agronomiques*.

Ctifl



Centre technique interprofessionnel
des fruits et légumes

Un centre technique... au service de toute l'interprofession

> Paris - siège

22 rue Bergère
75009 Paris
Tél. +33 (0)1 47 70 16 93
Fax. +33 (0)1 42 46 21 13

> Antenne de Rungis

1 rue de Perpignan
Bâtiment D3
Case postale 30420
94632 Rungis Cedex
Tél. +33 (0)1 56 70 11 30
Fax. +33 (0)1 45 60 58 02

> Centre opérationnel de Balandran

751 chemin de Balandran
30127 Bellegarde
Tél. +33 (0)4 66 01 10 54
Fax. +33 (0)4 66 01 62 28

> Centre opérationnel de Carquefou

ZI Belle Étoile - Antarès
35 allée des Sapins
44483 Carquefou
Tél. +33 (0)2 40 50 81 65
Fax. +33 (0)2 40 50 98 09

> Centre opérationnel de Lanxade

28 Route des Nébouts
24130 Prignonrieux
Tél. +33 (0)5 53 58 00 05
Fax. +33 (0)5 53 58 17 42

> Centre opérationnel de Saint-Rémy-de-Provence

Route de Mollégès
13210 St-Rémy-de-Provence
Tél. +33 (0)4 90 92 05 82
Fax. +33 (0)4 90 92 48 87

Le CTIFL est présent sur Internet

e-mail : « votre contact au CTIFL »
@ctifl.fr

Site : <http://www.ctifl.fr>

6 adresses à retenir

Faire fructifier l'avenir...

Action financée par

