

BioREco, 12 ans d'expérimentation pour réduire l'utilisation des pesticides en verger de pommiers (2004-2015)

Coordination : INRA Gotheron



Une expérimentation système*

Dans chacun des systèmes expérimentés, il s'agit d'évaluer dans la durée un ensemble de choix de plantation et de pratiques pour répondre à l'objectif fixé (la réduction de l'utilisation des pesticides tout en assurant une production durable en quantité et qualité). Chaque méthode utilisée n'est pas évaluée individuellement mais dans sa combinaison avec d'autres choix techniques au sein du 'système' verger, en prenant donc en compte les interactions entre méthodes. Par ailleurs, un ensemble de critères est utilisé pour évaluer dans quelle mesure l'objectif fixé est atteint. Cette approche demande de travailler dans la durée, et d'être dans des conditions proches de la situation de production pour évaluer des aspects liés aux communautés biologiques du verger ou encore les temps de travaux : l'expérimentation a donc été conduite en 'grande parcelle' sur la période 2005-2015.

* « L'expérimentation système permet de tester la capacité d'un ensemble cohérent de choix techniques à satisfaire les objectifs fixés. L'innovation consiste autant à construire des nouvelles combinaisons avec les techniques [...] existantes qu'à introduire de nouvelles technologies... » JM Meynard (2012) *Innov Agron* 20, 143-153.

Enjeux et objectifs

La pomme est une production largement dépendante de l'utilisation des pesticides :

- les vergers actuels sont implantés avec des variétés sensibles aux bio-agresseurs et le taux de renouvellement de ces vergers est faible
- la pérennité de la culture permet à certains bio-agresseurs de se maintenir dans les vergers d'une année sur l'autre, avec des risques de dégâts récurrents si les populations ou les inoculum augmentent
- la période de risques de dégâts est longue (6 à 8 mois sur une saison culturale)
- les standards actuels de commercialisation rémunèrent les fruits de 1er choix '0 défaut'...

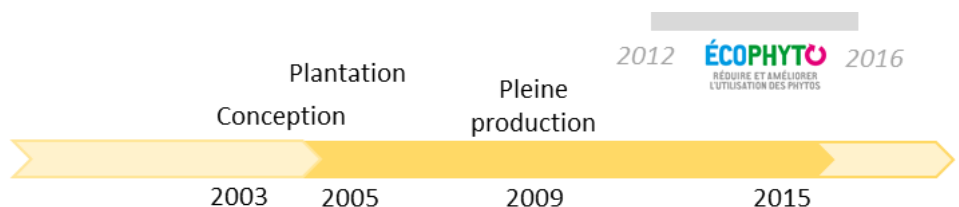
Dans quelle mesure est-il possible de réduire durablement l'utilisation des pesticides en verger de pommiers ?

Quelles combinaisons de leviers d'action peut-on mobiliser dans cet objectif ? Quelles sont les performances agronomiques, environnementales et technico-économiques des systèmes expérimentés ?

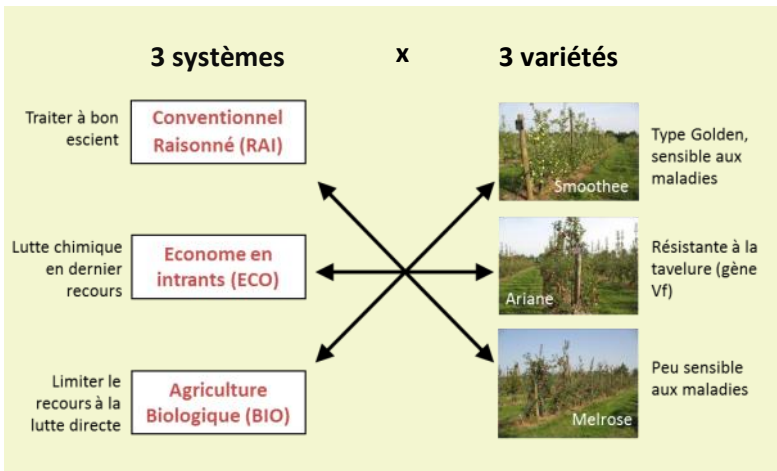
Au cours de la période 2004-2015, le projet 'BioREco' a permis de concevoir, d'expérimenter et d'évaluer plusieurs systèmes de production de pommes en verger qui intègrent choix variétal, pratiques de pilotage du verger et évaluation du risque de dégâts dus aux ravageurs et maladies. Cette synthèse présente les principaux résultats acquis sur ce dispositif original au cours de la période d'étude.

BioREco constitue la première expérimentation système en arboriculture implantée en France. Depuis 2012, BioREco participe au programme national Dephy EXPE Ecophyto.

Partenaires : GRCETA Basse-Durance, INRA PSH Avignon, EPLEFPA Valentin et Chambre d'Agriculture de la Drôme



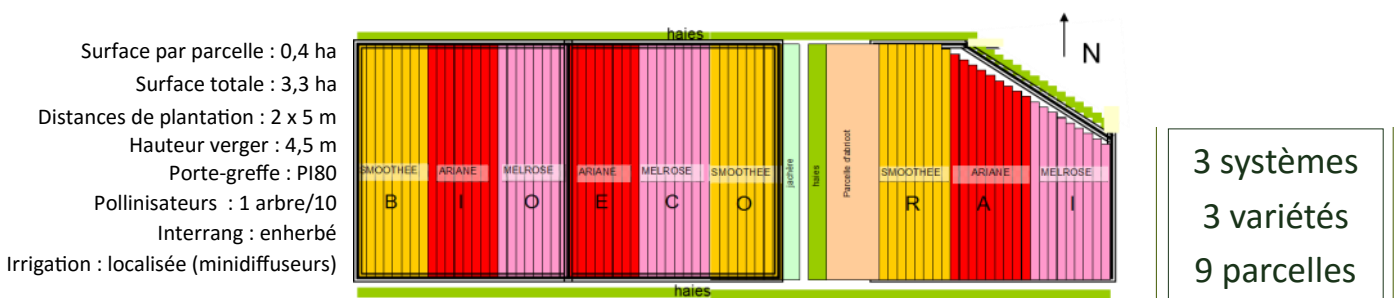
Dispositif



Trois systèmes ont été expérimentés :

- ◆ **Raisonné (RAI)**, sans prise de risques, limitation des coûts de production (principalement protection chimique), référence conventionnelle
- ◆ **Econome en intrants (ECO)**, protection utilisant des méthodes non chimiques sauf si perte de récolte/d'arbres
- ◆ **Agriculture Biologique (BIO)** : respect du cahier des charges européen dans contexte français, limitation du cuivre.

Dans chacun des 3 systèmes sont implantées 3 variétés de sensibilité différente aux maladies : Smoother (CG10 Yellow Delicious Smoother®), Ariane et Melrose.



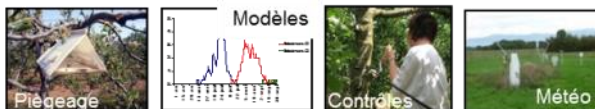
Les systèmes diffèrent entre eux pour la protection et la fertilisation qui est minérale dans RAI, organique (compost, engrais organique) dans BIO et minérale (2005-2010) puis mixte (compost, engrais minéraux) dans ECO. Des haies brise-vent multi-espèces sont présentes au Nord et au Sud des 3 systèmes ; une haie Nord-Sud et une zone tampon séparent le système RAI des systèmes ECO et BIO regroupés pour optimiser l'utilisation de la confusion sexuelle.



Simon et al. (2011)

Leviers combinés pour réduire l'utilisation des pesticides

Evaluation fine du risque de dégâts



Plus ou moins mobilisés selon les systèmes, les leviers pour limiter l'utilisation des pesticides reposent sur :

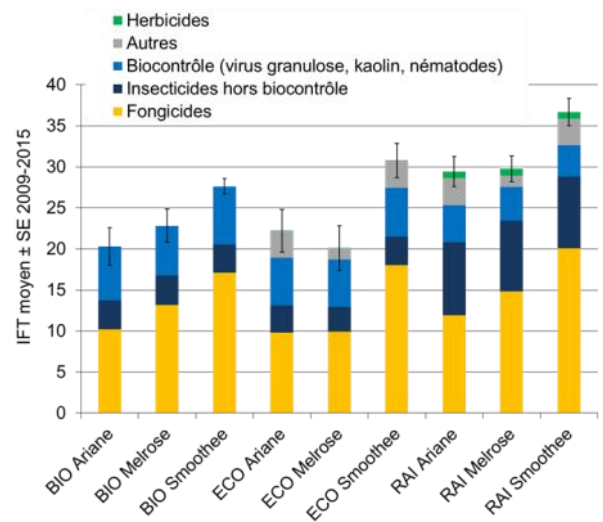
- ◆ **des actions via la plante** (choix variétal, conduite d'arbre pour une frondaison aérée, fertilisation et irrigation ajustées aux besoins des arbres)
- ◆ **des actions de prophylaxie** (tavelure, carpocapse, oïdium...)
- ◆ **des actions via les auxiliaires** en limitant l'utilisation de pesticides peu sélectifs, en réduisant la fréquence des tontes de l'inter-rang
- ◆ **une évaluation fine du risque de dégâts** dans la parcelle basée sur les prévisions et les conditions météorologiques, des observations en verger et l'utilisation de modèles de prédiction du risque de dégâts (tavelure, carpocapse)
- ◆ **des méthodes alternatives aux pesticides** de synthèse : désherbage mécanique, confusion sexuelle, lutte microbiologique (virus de la granuleuse), lutte biologique (nématodes entomopathogènes).

Utilisation des pesticides réduite dans certains systèmes...

• Indice de Fréquence de Traitement*

- ◆ Les systèmes qui permettent la réduction la plus importante (38-45% en moyenne par rapport à RAI Smoothee) sont ceux qui mobilisent **variété peu sensible** ou résistante aux maladies, **combinaison de méthodes alternatives** et **prédiction fine du risque de dégâts**.
- ◆ La diminution de l'utilisation des pesticides reste limitée (<25%) en BIO et ECO pour une variété sensible aux maladies telle Smoothee.
- ◆ Lorsque le système testé recourt principalement à des solutions chimiques (pas de prise de risques), la réduction de l'utilisation des pesticides est également limitée quelle que soit la variété (<25%, ex. RAI).

IFT* total moyen en période de pleine production (2009-2015)



* **Indice de Fréquence de Traitement (IFT)** : nombre équivalent de doses homologuées appliquées par an pour tous les produits commerciaux. Dans l'IFT total présenté sont individualisés (en bleu clair) les produits (micro)biologiques (virus de la granulo et nématodes, cible carpocapse) et le kaolin (cible puceron). Les produits 'Autres' correspondent aux éclaircissants.

...et pratiques de protection évoluant au fil du temps

• En fonction du contexte de production

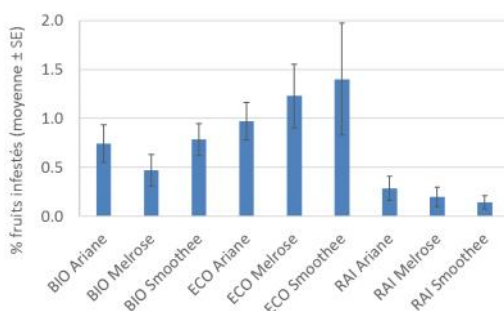


Confusion sexuelle dans RAI depuis 2013

Larve de carpocapse dans fruit

L'utilisation de la confusion sexuelle, qui s'est généralisée dans les vergers de production, a été mise en place également dans le système RAI à partir de 2013. Elle permet en moyenne une réduction de 6.2 IFT insecticides.

Dégâts de carpocapse à la récolte (moyenne 2009-2015)



Le protection contre le carpocapse est réalisée exclusivement avec des produits de biocontrôle (confusion, virus granulo, nématodes) dans ECO et BIO depuis 2013, avec surveillance régulière du verger et utilisation de modèles. Les dégâts à la récolte sont en moyenne faibles à peu élevés en fonction des systèmes, avec une plus grande variabilité des résultats en BIO et ECO.

• En fonction du contexte biotique

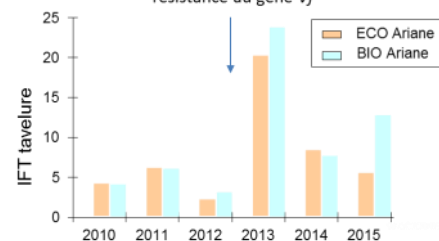


Contournement du gène de résistance à la tavelure d'Ariane en 2012

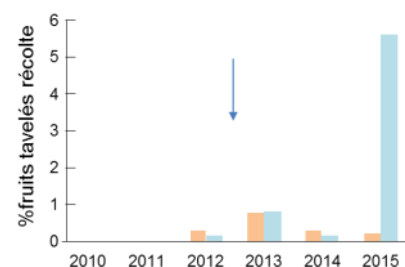
Tavelure sur fruit variété Ariane

IFT* cible tavelure

Contournement de la résistance au gène Vf



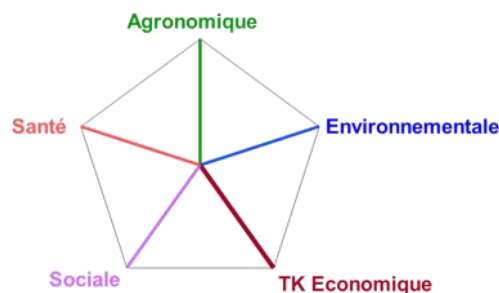
Dégâts de tavelure sur fruits à la récolte



Le contournement de la résistance à la tavelure s'accompagne d'une utilisation accrue des fongicides et d'une augmentation des dégâts sur fruits, en particulier en BIO.

Evaluation multicritère

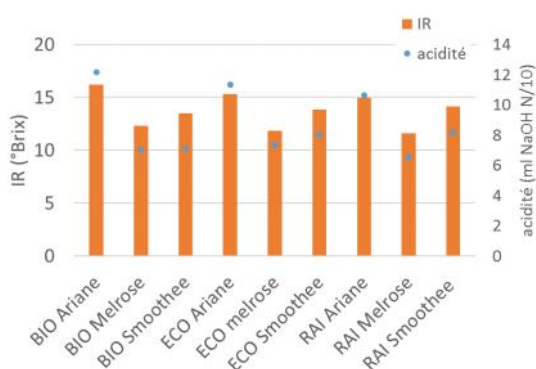
Pour chacun des systèmes expérimentés, l'évaluation multicritère réalisée dans le cadre de BioREco inclut principalement performances agronomiques, impact environnemental estimé par différents indicateurs, coûts de production et faisabilité. Sauf information contraire, cette évaluation a été réalisée sur la période de pleine production (2009-2015).



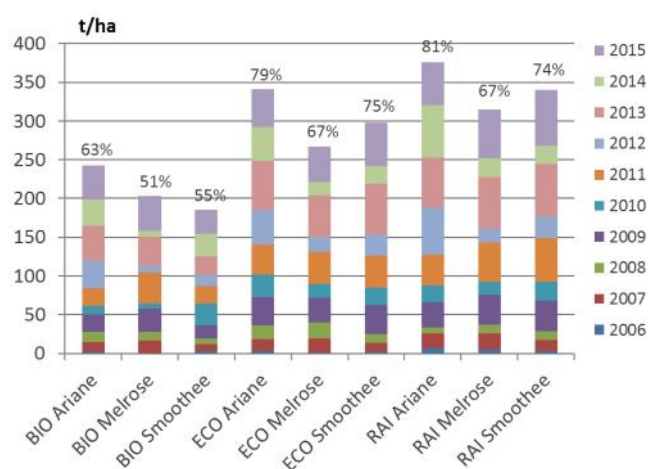
• Evaluation agronomique—Vigueur, rendement et qualité des fruits

- ◆ Pour les 3 variétés, la vigueur, estimée par l'accroissement du diamètre du tronc, est identique dans les 3 systèmes expérimentés.
- ◆ L'indice réfractométrique mesuré à la récolte montre que la teneur en sucre des fruits est fortement liée à la variété. La qualité (sucre, acidité) des fruits produits dans les 3 systèmes est similaire et satisfait les critères commerciaux pour chacune des variétés.

Indice réfractométrique et acidité, moyenne 2009-2014



Rendement total (frais+ industrie) : cumul 2006-2015, %1er choix en période de pleine production (2009-2015)



- ◆ Les rendements et le % de fruits de 1er choix sont de niveau équivalent en RAI et ECO, et plus faibles en BIO.
- ◆ Les déclassements de fruits sont principalement dus à des dégâts esthétiques (calibre, coloration), mécaniques ou climatiques (blessures, coups de soleil) et/ou aux bio-agresseurs (tavelure, puceron cendré en BIO).

■ La réduction de l'utilisation des pesticides des systèmes ECO a été réalisée sans diminution du niveau de rendement et du pourcentage de fruits de 1er choix par rapport à la référence (RAI). Le rendement est moindre en BIO, et les dégâts sur fruits (tavelure et puceron cendré) sont plus élevés certaines années.

• Evaluation environnementale - Communautés biologiques



Communautés de lombriciens

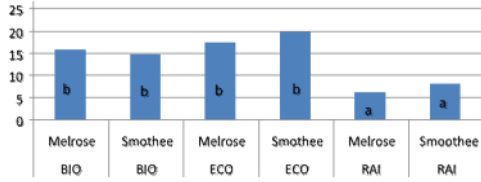
- ◆ Les différences observées entre parcelles avant plantation sont encore visibles après 10 ans.
- ◆ L'abondance des lombrics augmente globalement avec la maturité du verger.
- ◆ Dans RAI, les lombrics anéciques (qui se nourrissent à la surface mais vivent en profondeur) sont moins présents pour la période 2004-2010, mais cette tendance disparaît ensuite...



Communautés d'araignées du sol et de la frondaison

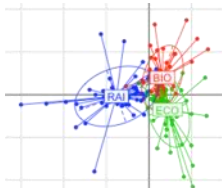
- ◆ L'abondance des araignées du sol est moindre dans RAI.

Nombre moyen d'individus /pot-piège, exemple juin 2013



- ◆ La structure de la communauté d'araignées de la frondaison diffère dans RAI par rapport aux 2 autres systèmes.

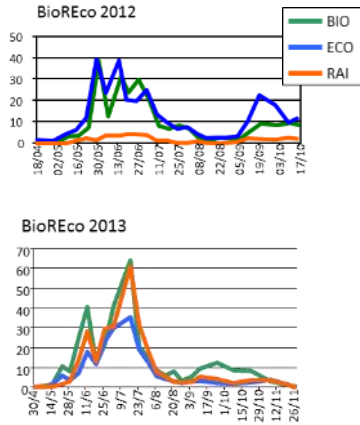
Structure des communautés d'araignées de la frondaison (2012-2015)



Communautés d'insectes : exemple des forficules, prédateurs généralistes

- ◆ Le changement de pratiques de protection (suppression d'insecticides) s'accompagne de l'augmentation de l'abondance des forficules dans les abris installés sur les troncs dans le verger.

Abondance des forficules au fil de la saison



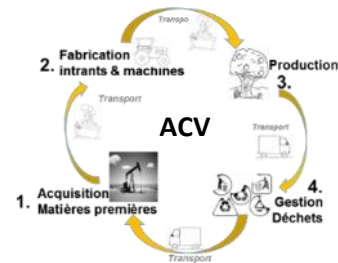
Système RAI 2012 : protection chimique contre le carpocapse. L'abondance des forficules est très faible dans ce système.

Système RAI 2013 : Mise en place de la confusion sexuelle et réduction de l'utilisation des insecticides. L'abondance des forficules est équivalente dans les 3 systèmes.

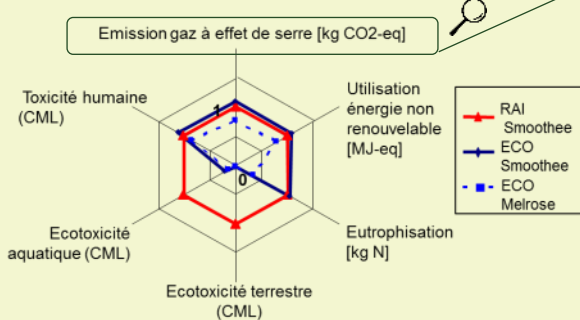
■ Selon les groupes étudiés, les systèmes peuvent se différencier, sans tendance marquée entre systèmes pour l'ensemble des communautés en termes d'abondance ou de diversité. Seule la composition des communautés tend à individualiser RAI des deux autres systèmes (araignées). Un changement de pratiques peut s'accompagner de rapides changements d'abondance (ex. forficules), mais des facteurs autres que la protection peuvent intervenir (ex. précédent cultural pour les lombrics).

• Evaluation environnementale - Indicateurs

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est une méthode d'évaluation quantitative des impacts sur l'environnement d'un système qui inclut l'ensemble des émissions directes (au champ) et indirectes (extraction des matières premières, fabrication et transport des intrants et du machinisme, gestion des déchets). Différentes catégories d'impacts (ex. émission de gaz à effet de serre ou de substances polluantes) générées par chaque activité dans le verger sont considérées.

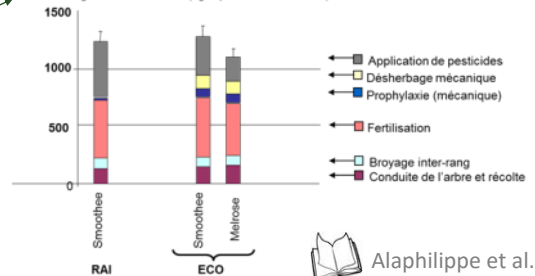


Résultats globaux ACV / ha (2006-2009)



Pour des raisons de lisibilité, les systèmes ECO, seuls présentés, sont décrits en relatif par rapport au système RAI Smothee (en rouge) dont les émissions sont ramenées à 1 pour toutes les catégories d'impact.

Emissions gaz à effet de serre (kg équivalent CO₂/ha/an)



Alaphilippe et al. (2013)

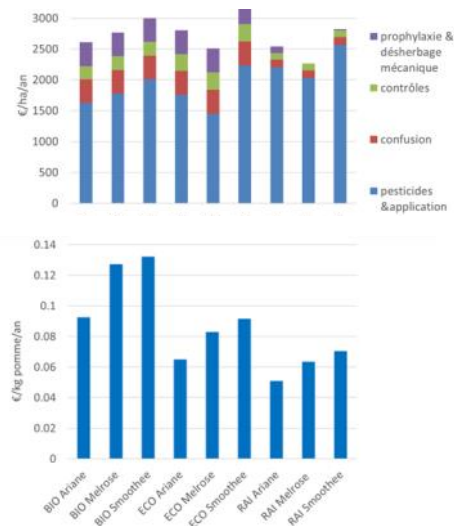
- ◆ Effet du système et de la variété pour les différentes catégories d'impact.
- ◆ La mécanisation accrue du système ECO ne s'accompagne pas d'émissions de gaz à effet de serre plus élevées, sous réserve d'une optimisation du choix du matériel et de son utilisation (opérations combinées).

■ Il n'y a pas de transfert de pollution d'une catégorie d'impact à une autre lorsqu'une mécanisation spécifique et optimisée remplace une protection chimique ; ces travaux confirment plus largement l'intérêt des méthodes de substitution aux pesticides expérimentées pour réduire les impacts environnementaux.

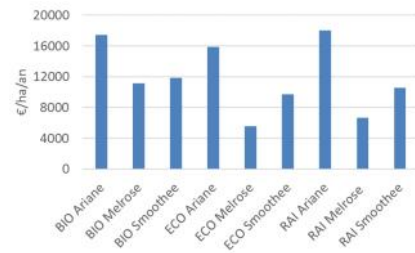
• Evaluation technico-économique et faisabilité

- ◆ Le coût de protection est lié à la variété et aux pratiques. La diminution du nombre d'applications de pesticides ne permet pas (sauf exception, cf BIO et RAI Smoothee) de compenser le surcoût de protection lié à la mécanisation, à l'utilisation de méthodes alternatives et aux contrôles en verger.

Coût des stratégies de protection (2009-2014, hors temps de décision pour pilotage)



Chiffre d'affaires annuel moyen théorique en période de pleine production (2009-2014)



- ◆ La variété est déterminante dans la simulation réalisée pour le chiffre d'affaires.

Les coûts incluent : intrants, temps de machinisme, temps de main d'œuvre (opérations manuelles, mécaniques et temps de contrôle)



Prix moyens utilisés (circuit long)

Industrie

0.33 €/kg AB

0.05 €/kg conventionnel

Frais

0.7 €/kg AB sauf 0.8 €/kg Ariane

0.45 €/kg Ariane

0.35 €/kg Smoothee

0.25 €/kg Melrose

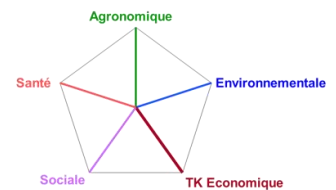
■ Le coût de production est plus élevé dans ECO et BIO mais s'accompagne d'une valorisation des fruits plus élevée en BIO. Plusieurs contraintes de mise en œuvre des systèmes ECO sont identifiées :

- Accès à l'information et à la formation : disponibilité de l'information, temps de contrôle en verger et de décision (combinaison d'informations de sources diverses)...
- Taille de l'exploitation et du matériel/personnel disponibles pour intervenir 'au dernier moment'
- Pas de revalorisation de la production ECO en circuit long.

• Tableau de bord d'évaluation des systèmes

Les points forts et les points d'amélioration de chacun des systèmes...

| | RAI Smoothee | ECO Melrose/Ariane | BIO Melrose/Ariane | Situation |
|----------------------------|--------------|--------------------|--------------------|---------------|
| Réduction pesticides (IFT) | ● | ● | ● | favorable |
| Rendement | ● | ● | ● | intermédiaire |
| Impact environnemental | ● | ● | ● | défavorable |
| Coût stratégies protection | ● | ● | ● | intermédiaire |
| Faisabilité | ● | ● | ● | intermédiaire |



■ Le système RAI est principalement pénalisé par son impact environnemental. En ECO, l'absence de revalorisation des fruits et les contraintes de mise en œuvre sont des freins à l'adoption de tels systèmes. En BIO, l'utilisation de cuivre et soufre s'accompagnent d'impacts environnementaux négatifs (analyse DEXiFruits, données non présentées) mais le coût des stratégies est compensé par une valorisation plus importante du prix des fruits.

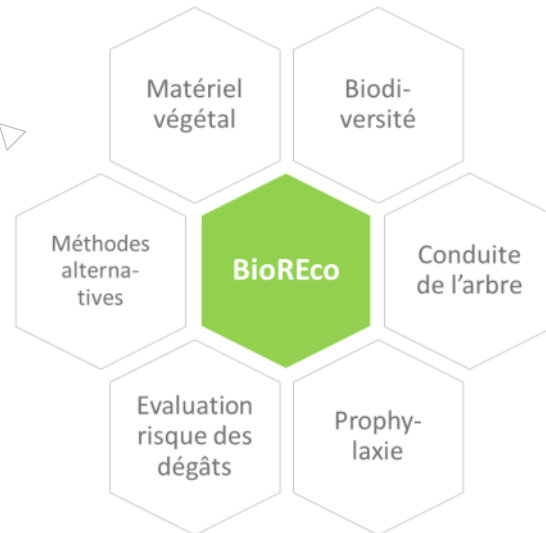
BioREco, des partages d'expériences autour de produire autrement des fruits et de la connaissance...



Méthodologies pour la conception et l'évaluation de systèmes pérennes



Des vergers et leur durabilité



Projets de recherche sur la réduction des pesticides, l'impact des pratiques, la biodiversité, l'échange de connaissances...

Des parcelles expérimentales situées dans un référentiel de production...



Lieu d'interactions et d'échanges de connaissances dont actions avec l'enseignement agricole



Un outil pour évaluer la durabilité globale des systèmes de production de fruits

Les données et l'expertise issues de BioREco ont permis le développement d'outils dédiés à la conception et à l'évaluation de vergers tel DEXiFruits.

L'évaluation de la durabilité du verger est qualitative et s'effectue à partir de critères d'entrée décrivant le contexte, le verger et les pratiques. Elle inclut les trois piliers de la durabilité : environnemental, économique et social. Sous forme visuelle, le logiciel permet d'effectuer un auto-diagnostic du verger pour évaluer ses forces et ses faiblesses et suivre son évolution dans le temps. L'outil est gratuit et disponible en ligne, avec une déclinaison sur trois productions : pomme à couteau, pomme à cidre et pêche.



Un tutoriel et un support de formation sont également disponibles en ligne et accessibles à tous.

<http://wiki.inra.fr/wiki/deximasc/DEXiFruits/1-+Accueil>

Coordination A. Alaphilippe, A. Vélou (INRA Gotheron)



BioREco, en bref...

Le dispositif BioREco est la première expérimentation système en arboriculture implantée en France. Ce dispositif a permis d'explorer dans la durée (2005-2015) le potentiel de réduction de l'utilisation des pesticides en verger de pommiers. Trois systèmes (Raisonné, RAI ; Econome en intrants, ECO ; Agriculture Biologique, BIO) ont été expérimentés, et trois variétés de sensibilité différente aux maladies (Smoothie, qui est un type Golden, Ariane et Melrose) ont été implantées dans chacun des systèmes, soit 9 parcelles au total.

Par rapport à la référence régionale, il a été possible de réduire l'utilisation des pesticides en moyenne de 38 à 45% en combinant variété peu sensible ou résistante aux maladies, un ensemble de pratiques alternatives aux pesticides et une évaluation fine du risque de dégâts. Cette réduction a été atteinte pour des niveaux de rendement similaires en ECO et RAI. Le rendement a été moindre dans le système BIO dans lequel les dégâts sur fruits peuvent être plus élevés. L'abondance et la diversité des communautés biologiques étudiées (lombrics, forficules, araignées) varient selon les systèmes et les années. A l'échelle globale, l'impact environnemental des systèmes est diminué par la réduction de l'utilisation des pesticides. Les coûts de production sont plus élevés en ECO et BIO par rapport à RAI, mais sans revalorisation du prix des fruits en ECO. Le système ECO requiert enfin un contexte et un accès à l'information spécifiques pour sa mise en œuvre.

Cette évaluation multicritère a permis le développement d'outils d'évaluation et d'identifier les points forts et les points d'amélioration des systèmes expérimentés. Ce dispositif a également permis de créer une dynamique autour de l'approche expérimentale, des vergers, de leur évaluation multicritère, des résultats et des connaissances nécessaires pour repenser les vergers de demain.

Pour en savoir plus...



- ♦ Alaphilippe A., Simon S., Brun L., Hayer F., Gaillard G. (2013) Life cycle analysis reveals higher agroecological benefits of organic and low-input apple production. *Agron. Sustain. Dev.* 33(3):581-592.
- ♦ Le Bourvellec C., Bureau S., Renard C. M., Plénet D., Gautier H., Touloumet L., Girard T., Simon S. (2015) Cultivar and year rather than agricultural practices affect primary and secondary metabolites in apple fruit. *Plos One* 10 (11), 23 p.
- ♦ Simon S., Plénet D., Alaphilippe A., Guillermin P. (2014) Méthodologie de l'approche système en arboriculture fruitière, partage d'expériences. Synthèse séminaire INRA Gotheron-EcoPhyto-GIS Fruits, 06 nov. 2013, INRA Gotheron, 21 p.
- ♦ Alaphilippe A., Brun L., Gros C., Guinaudeau J., Morel K., Traverse K., Simon S. (2011) Bioreco, un dispositif innovant pour évaluer les pratiques de protection en verger de pommiers. *Zoom 26 Arboriculture* 1502:2-7.
- ♦ Simon S., Brun L., Guinaudeau J., Sauphanor B. (2011) Pesticide use in current and innovative apple orchard systems. *Agron. Sustain. Dev.* 31:541-555.
- ♦ Laurie A. (interview Simon S.) (2012) Un dispositif innovant à l'INRA de Gotheron. *Agriculture Drômoise*, 2063:6.
- ♦ Simon S. (2013) BIORECO : Trouver le compromis entre performances agronomiques et environnementales. *Arboriculture Fruitière* 671:27-28.
- ♦ Simon S. (contact) (2015) Des essais systèmes, BioREco compare 3 modes de production. *Réussir Fruits et Légumes* 351:47-49.



Une **série de films** illustre le travail réalisé sur BioREco : Le projet, La spécificité de l'agrosystème verger, Les méthodes alternatives combinées, L'approche système, L'évaluation multicritère.

Accessibles en ligne à partir de mars 2017 sur les sites du GIS Fruits, INRA, et EcoPhyto-PIC

Contacts : Sylvaine Simon : sylvaine.simon@inra.fr ; Aude Alaphilippe : aude.alaphilippe@inra.fr

Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui ont contribué à ces travaux et aux échanges autour de BioREco au fil des 12 années du programme !

La réalisation de BioREco a été permise par l'implication de nombreux collègues de l'unité INRA de Gotheron, et en particulier de l'équipe SaVAGE (Système Verger Agroécologique).

Les diffuseurs utilisés dans le dispositif ont été fournis par la société SumiAgro.

Merci à nos partenaires et financeurs, et au GIS Fruits pour son soutien thématique et logistique.



INRA@Gotheron, janvier 2017
Crédits photos : INRA@Gotheron et PACA

Action pilotée par le ministère chargé de l'agriculture, avec l'appui financier de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan EcoPhyto 2018.

