



HAL
open science

Vers des cultures fruitières et légumières à hautes performances environnementales

Benoit Jeannequin, Françoise Dosba, Daniel Plénet, Michel Pitrat, Jean-Eric Chauvin

► **To cite this version:**

Benoit Jeannequin, Françoise Dosba, Daniel Plénet, Michel Pitrat, Jean-Eric Chauvin. Vers des cultures fruitières et légumières à hautes performances environnementales. *Innovations Agronomiques*, 2011, 12, pp.73-85. hal-01512048

HAL Id: hal-01512048

<https://hal.science/hal-01512048>

Submitted on 21 Apr 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Vers des cultures fruitières et légumières à hautes performances environnementales

Jeannequin B.¹, Dosba F.², Plénet D.³, Pitrat M.⁴, Chauvin J.E.⁵

¹ Inra, Domaine Expérimental Alénya Roussillon, Le Mas Blanc, 66200 Alénya

² Montpellier SupAgro, UMR Amélioration Génétique et Adaptation des Plantes – Avenue Agropolis TA A-96/03, 34398 Montpellier Cedex 05

³ Inra, UR Plantes et Systèmes Horticoles, Domaine Saint Paul, Site Agroparc, 84914 Avignon Cedex 9

⁴ Inra, UR Génétique et Amélioration des Fruits et Légumes, BP 94, 84 143 Montfavet

⁵ Inra, UMR Amélioration des Plantes et Biotechnologies Végétales BP 35327 35653 Le Rheu Cedex

Correspondance : benoit.jeannequin@supagro.inra.fr

Résumé

En France, les productions fruitières et légumières qui occupent moins de 2 % de la SAU sont caractérisés par la diversité des espèces cultivées et les multiples systèmes de culture qui peuvent avoir des impacts environnementaux divers. Face aux nouveaux enjeux de développement d'une horticulture *sensu lato* à haute performance environnementale, l'Inra contribue aux travaux visant à réduire l'impact environnemental de ces cultures et à concevoir des systèmes de culture innovants. Les principaux résultats acquis au cours des dernières années concernent l'optimisation de la gestion du climat sous serre, le raisonnement optimisé de pratiques d'irrigation et de fertilisation, la création de variétés multi résistantes et la gestion durable des résistances aux bio agresseurs, l'élaboration de systèmes de cultures innovants limitant les risques phytosanitaires. Outre les recherches conduites en agriculture biologique, le développement de la protection fruitière intégrée et, plus récemment, de la protection biologique intégrée sous serre constituent des apports importants dans cette démarche de protection de l'environnement. Les approches actuelles de l'Inra sont plus globales et concernent l'étude des systèmes de culture à bas intrants et à hautes performances environnementales et économiques. Elles nécessitent des approches de modélisation des systèmes complexes et des partenariats multiples. Pour nourrir et étudier ces questions, l'Inra renforce ses structures d'interface notamment au travers de Groupements d'Intérêt Scientifique tel que le GIS PIClég et très prochainement le GIS « Fruits ».

Mots-clés : fruits, légumes, environnement, innovation variétale, énergie, irrigation, fertilisation, protection des cultures, protection biologique, systèmes de culture.

Abstract: Towards fruit and vegetable productions with high environmental performances

In France, fruit and vegetable productions contribute 2% of the UAA and are characterised by a diversity of cultivated species and cropping systems with contrasting environmental impacts. Facing new stakes of implementing horticulture with high environmental performance, Inra carries out researches targeting a reduction of the environmental impact of these crops and conception of innovative production systems. The main results achieved during the recent years concern optimisation of the management climatic conditions in greenhouses, optimised management of irrigation and fertilisation, creation of

varieties with multiple resistance as well as durable management of resistance to pests and diseases, conception of production systems leading to reduced phytosanitary risks. Beyond researches in organic farming, the implementation of integrated pest management in fruit production and, more recently, integrated biological control in greenhouses are main contributions to environment preservation. Present approaches of Inra are more global and target low input production systems with high environmental and economic performances. They require modelling of complex systems and multiple partnerships. To feed and study these questions, Inra reinforces its collaborative structures, especially through Group of Scientific Interest (GIS) such as GIS PICLeg and, soon, GIS Fruits.

Keywords: fruits, vegetables, environment, variety innovation, energy, irrigation, fertilization, crop protection, biological control, crop systems.

1 - Introduction

Les filières de production des fruits et légumes sont relativement importantes en France qui, dans ce domaine, se situe en 3^{ème} position derrière l'Espagne et l'Italie. Cependant, au cours des 10 dernières années, ces filières ont été fragilisées par une diminution régulière des surfaces et de la production, une stabilité globale des rendements, et par des prix de première mise en marché très aléatoires entraînant régulièrement des crises au sein de la profession. Pour la production fruitière, les surfaces et les volumes récoltés sont respectivement de 174.000 ha et 3 millions de tonnes, et pour la production légumière de 254.000 ha et 6 millions de tonnes, auxquels il faut ajouter 125.000 ha de pomme de terre avec une collecte de 5,4 millions de tonnes. Par ailleurs, le solde des échanges pour les fruits et légumes frais est de plus en plus déficitaire.

Ces filières sont caractérisées par une très grande diversité à différents titres :

- une cinquantaine d'espèces cultivées, annuelles ou pérennes ;
- des systèmes de production diversifiés plus ou moins intensifs, allant de la serre chauffée hors sol (tomate, concombre, fraiser, rosier) aux vergers extensifs (noyer, pommier à cidre, châtaignier, olivier) et à l'Agriculture Biologique, avec entre ces extrêmes, les abris plastiques non chauffés (tunnels) ou temporaires (bâches, chenilles) dédiés principalement aux légumes, les vergers conventionnels (pommier, pêcher) et les systèmes légumiers de plein champ (pomme de terre, haricot, petit pois, oignons) ;
- des impacts environnementaux également contrastés. Les serres verres chauffées produisent des gaz à effet de serre mais, conduites en protection biologique intégrée, peuvent être peu consommatrices de produits phytosanitaires. Les plastiques issus de la pétrochimie sont abondamment utilisés pour les paillages, les couvertures d'abri, les filets anti-grêle ou pour le contrôle des ravageurs. Par ailleurs ces plastiques souillés de terre constituent des déchets qui sont difficilement recyclables. L'arboriculture fruitière et l'horticulture (légumes et plantes ornementales) qui, ensemble, représentent moins de 2% de la surface agricole utile française, utilisent respectivement 5,2 et 4,7 % des produits phytosanitaires utilisés en France. Par ailleurs, les pommiers et la pomme de terre, avec la vigne, représentent les cultures ayant les indices de fréquence de traitement (IFT) les plus élevés. Les conséquences environnementales de ces forts apports d'intrants peuvent être d'autant plus dommageables du fait d'une forte concentration géographique des cultures de fruits ou de légumes dans certains bassins de production.

Des **efforts importants sont déjà réalisés par les producteurs** pour respecter davantage l'environnement et limiter l'utilisation des intrants, mais aussi pour répondre aux exigences de la distribution (cahiers des charges). Ces efforts sont actuellement vivement sollicités par les

réglementations européenne et française en matière de pesticides.

De **nouveaux enjeux** apparaissent également avec la réduction des pesticides et de nombreux usages orphelins, ce qui ouvre la voie au développement de méthodes de protection alternatives et/ou biologiques. Cette évolution s'est notamment traduite par la montée en puissance en France de la Production Fruitière Intégrée (PFI) à partir des années 1990. Les **variétés** présentant des caractéristiques génétiques de résistance aux bio agresseurs font l'objet de **nombreuses innovations** et de lancements variétaux, mais se déploient plus ou moins rapidement selon le dynamisme de la filière concernée, et la possibilité de lancer de nouveaux produits auprès des consommateurs pas toujours réceptifs à l'innovation dans ce domaine. L'attachement de ceux-ci à certaines variétés traditionnelles ou aux produits issus de ces variétés est, dans certains cas, un frein certain à la mise en place de scénarii de gestion raisonnée des risques épidémiques incluant les possibilités de lutte génétique. Ainsi, l'évolution des pratiques culturales prend souvent le pas sur celle de la gamme variétale.

Par ailleurs, **l'évolution climatiques et ses conséquences sur la phénologie des espèces fruitières et la disponibilité des ressources en eau** constituent de nouveaux enjeux en particulier pour les cultures fruitières en terme d'optimisation de la gestion hydrique et d'adaptation des plantes aux stress abiotiques.

Enfin, dans un souci d'optimisation agro-écologique, l'aménagement paysager des vergers visant à favoriser la biodiversité commence à se développer, notamment en agriculture biologique.

Toutefois, face à l'enjeu d'une forte réduction d'usage des intrants, la filière fruits et légumes par certaines de ses spécificités se trouve confrontée à un défi majeur. En effet, à cause de la forte valeur ajoutée de ces productions, les prises de risque économique peuvent être très élevées en raison des niveaux élevés d'investissement en matériels et en implantation des cultures, de l'importance des temps de travaux et des exigences très fortes liées à la qualité des produits (normes commerciales et sanitaires).

L'Inra contribue aux travaux visant à **réduire l'impact environnemental** de ces cultures. Des recherches sont en cours et certaines solutions appliquées pourraient être opérationnelles assez rapidement. De plus, l'objectif est aussi d'associer de manière cohérente l'ensemble des techniques actuellement disponibles ou en cours de mise au point pour **concevoir des systèmes de culture innovants** répondant aux enjeux de la performance économique et environnementale.

2 - Résultats acquis et recherches en cours

L'Inra, en tant qu'organisme de recherche finalisée au service de l'horticulture, sensu lato, et de ses filières, met en œuvre depuis de nombreuses années des recherches visant à optimiser la production des fruits et légumes. Ce travail de recherche qui implique différentes disciplines scientifiques de l'Institut, est mené fréquemment en collaboration avec les organismes techniques en charge de l'expérimentation et du développement, en particulier le Ctifl, l'ltab, les stations régionales d'expérimentation et les Chambres d'agriculture. Les projets de recherche mentionnés dans ce document font l'objet de **partenariats multiples et nombreux**. Les évolutions récentes en terme de réglementation et de questionnement environnementaux et sociétaux ont amené l'Inra à **accentuer les recherches visant à améliorer les performances environnementales** des productions fruitières et légumières vers les 3 axes ci-dessous.

2-1 Réduire les consommations d'énergie, d'eau et d'engrais

2.1.1 Ajustement des consignes climatiques visant à réduire le chauffage des serres

Des recherches visant à réduire les consommations d'énergie dans les serres ont régulièrement été conduites par l'Inra (serre solaire, chauffage basse température, matériaux de couverture, écran thermique, etc.). L'une des plus récentes a porté sur la conception d'un logiciel d'aide au choix des consignes climatiques (**logiciel « Serriste »**). Par une prise en compte des prévisions météo et de différents paramètres culturaux, ce logiciel détermine les consignes de chauffage, d'aération et de déshumidification pour utiliser au mieux l'énergie solaire et réduire le chauffage. Les expérimentations réalisées avec « Serriste » en 1996 sur différents sites d'expérimentation (Bretagne, Roussillon, Aquitaine, Provence) ont montré que les consignes climatiques calculées par ce logiciel permettaient de **réduire d'environ 20% les consommations d'énergie sans affecter le rendement**. Malgré ces résultats économiques très positifs et les actions menées par l'Inra auprès des fabricants d'ordinateurs climatiques, ce logiciel n'a pas pu être immédiatement transféré aux serristes. L'augmentation en 2006 du prix des combustibles suscitant un regain d'intérêt pour réduire les dépenses de chauffage, les connaissances produites lors de la conception du logiciel « Serriste » sont actuellement mobilisées par le Ctifl et un industriel de l'automatisation des serres dans le cadre du projet « Intégration de température ».

2.1.2 Utilisation d'outils de raisonnement des pratiques d'irrigation et de la fertilisation en cultures légumières

- **en cultures hors sol sous serre**

Lors du développement des cultures hors sol, pour éviter des problèmes physiologiques de stress hydrique ou salin, dus à l'hétérogénéité des besoins des plantes et de la distribution de la solution nutritive, les serristes ont choisi de 'sur-irriguer' engendrant de ce fait hors des serres des rejets importants d'eau et de fertilisants. Pour remédier à ces nuisances, les recherches de l'Inra ont contribué à la mise au point de techniques permettant de recycler les solutions de drainage sur la culture. Les travaux ont permis d'élaborer des **règles de pilotage de la ferti-irrigation** pour maintenir tout au long du cycle cultural des équilibres nutritifs satisfaisants et de proposer des techniques de désinfection des solutions recyclées afin de réduire les risques de prolifération parasitaire.

La **technique de culture hors sol à drainage recyclé** est opérationnelle pour les cultures de tomate, de concombre et de rose, mais elle n'est encore que partiellement appliquée par les maraîchers. En alternative à la technique du recyclage, qui est coûteuse pour les petites exploitations horticoles ou inadaptée lorsque les eaux d'irrigation sont chargées d'éléments minéraux peu absorbés (Na, Cl, Ca, SO₄), des stratégies de fertilisations permettant de réduire de façon très importante les rejets d'azote ont été élaborées. Ces techniques ont été testées par les stations régionales d'expérimentation et sont progressivement adoptées par les serristes.

- **en cultures maraîchères en sol**

Les études réalisées afin de mieux ajuster les apports d'eau et d'engrais ont permis d'élaborer des références sur les besoins des espèces, les biotransformations des matières organiques endogènes et exogènes et les sources d'éléments nutritifs. Des outils et des règles originales de gestion ont été construits et testés pour **optimiser les apports d'eau, de matière organique et d'engrais** et ainsi concilier au mieux le rendement, la qualité et la protection de l'environnement. Ces outils sont paramétrés et adaptés par les organismes techniques pour être utilisés sur les principales cultures légumières (**Programme PILazo**).

La comparaison de parcelles gérées par ces outils d'aide à la décision et de parcelles en fertilisation et irrigation non raisonnée permet d'estimer à plus de 30% les réductions potentielles d'apports d'eau et

d'éléments minéraux. Ces outils, qui sont développés par le Ctifl et les stations régionales d'expérimentation pour les principales espèces légumières, apparaissent encore peu employés par les maraîchers pour lesquels les apports d'eau et d'engrais résultent essentiellement de décisions empiriques.

2.1.3 Gestion et outil de pilotage de l'alimentation hydrique en arboriculture fruitière

Des études sur le fonctionnement des arbres sous différents niveaux d'irrigation ont été conduites avec pour objectif de modéliser l'effet du déficit hydrique sur l'élaboration du rendement, la qualité des fruits et la sensibilité des fruits aux attaques des bio agresseurs. Ces travaux ont été majoritairement réalisés sur le pêcher du fait des exigences édaphiques et climatiques de cette culture. Les effets de l'alimentation hydrique sur les cinétiques d'accumulation dans la pulpe des fruits des principaux sucres solubles et acides ont été quantifiés pour déterminer les répercussions sur la qualité organoleptique des fruits, en relation avec les modifications sur la distribution en différents calibres qui influence fortement la valeur marchande de la récolte. Parallèlement, des travaux ont porté sur l'adaptation des techniques d'irrigation pour réduire l'utilisation en eau d'irrigation tout en améliorant les performances technico-économiques. Les scénarios étudiés sont basés sur l'application de déficits hydriques modérés à certaines périodes du cycle de développement de l'arbre et du fruit. Ils nécessitent l'utilisation d'outils de pilotage précis de l'irrigation. Les relations entre deux indicateurs du statut hydrique des plantes présentant des caractéristiques complémentaires en terme d'opérationnalité (potentiel hydrique des tiges ; fluctuations micrométriques des branches – système Pépista, brevet Inra) ont été établies et des seuils pour une gestion précise de l'irrigation sont proposées. Pour accroître la diffusion de ces stratégies de gestion de l'irrigation qui sont rendues possibles par le fort développement des techniques de micro-irrigation dans les vergers (micro-aspersion, goutte à goutte, etc.) et l'apparition de nouveaux capteurs mesurant l'humidité du sol en continu, l'Inra participe à la mise en place d'expérimentations et de suivis chez des producteurs, en relation avec de nombreux partenaires, pour préciser et valider à large échelle les référentiels nécessaires à la conduite d'une irrigation de plus en plus économe en eau. L'intérêt de ces stratégies est renforcé par les possibilités de diminuer la sensibilité du verger à certaines maladies notamment les maladies de conservation des fruits liées aux *Monilinia spp* sur les fruits à noyau, avec pour corollaire une possibilité de réduction d'usage des fongicides. Des partenariats sont mis en place par l'Inra pour évaluer ces nouveaux concepts de gestion de l'irrigation sur d'autres espèces fruitières. En plus de son rôle pour gérer l'alimentation hydrique des arbres pour l'obtention d'un rendement intéressant économiquement, l'irrigation apparaît comme un important levier d'action dans la conduite des vergers (vigueur, qualité des fruits, sensibilité aux bio agresseurs, etc.) s'inscrivant parfaitement dans une approche technique systémique.

2-2 Limiter l'utilisation de produits phytosanitaires

2.2.1 Création de variétés multi-résistantes et gestion durable des résistances aux bio agresseurs

Depuis sa création, l'Inra s'est toujours investi dans l'amélioration génétique des principales espèces fruitières et légumières, en passant progressivement de la **création variétale** en particulier **pour la résistance aux bio agresseurs** à des **recherches plus innovantes** pour alimenter et **améliorer les méthodologies de sélection**, par exemple les nouveaux schémas de sélection, les tests de détection des parasites et de caractérisation moléculaire de leur diversité, le déterminisme génétique des caractères de résistance, le développement de la génétique moléculaire et plus récemment de la génomique, **les interactions plantes - parasites** et le **contournement des résistances** introduites dans les nouvelles variétés. Des réflexions et des recherches pluridisciplinaires sont conduites à l'Inra en vue de gérer plus globalement la résistance aux principaux parasites et d'optimiser la durabilité des résistances. Depuis une quinzaine d'années, de nombreux projets de recherche en partenariat ont été

menés ou engagés et débouchent sur des résultats en terme de développements méthodologiques moléculaires, de caractérisation des ressources génétiques pour la résistance, et d'introgession de ces résistances dans les nouvelles variétés. Ainsi, le criblage des ressources génétiques a permis de mettre en évidence de nouvelles résistances à différents parasites et ravageurs chez les légumes et les fruits (par exemple : virus des espèces légumières, oïdium et *Cladosporium* chez le melon, mildiou chez le piment, mildiou et nématode à kyste chez la pomme de terre, *Monilia* et chancre bactérien chez l'abricotier, pucerons chez le pêcher, tavelure et feu bactérien chez le pommier et le poirier). L'étude du contrôle génétique des caractères de résistance permet maintenant dans de nombreux cas de définir des marqueurs moléculaires permettant une sélection assistée de gènes ou de QTL : par exemple, les nématodes à galle chez les porte-greffe des *Prunus*, sharka chez les *Prunus*, oïdium et puceron vert chez le pêcher, nématode à kyste et virus PVY chez la pomme de terre, où les processus de sélection sont particulièrement longs et complexes.

Enfin, la valorisation sous forme d'innovation variétale est réalisée, soit en fournissant des géniteurs aux sélectionneurs privés (par exemple pour les espèces légumières, les variétés de pomme de terre 'Coquine', résistante au mildiou, et 'Ildher', résistante au nématode à kyste), soit directement par l'Inra en partenariat avec les acteurs professionnels pour la création et/ou la multiplication des plants (abricot **Shamade** résistant à la sharka, pommes de table, **Ariane** et **Dalinette-Choupette®**, ou à cidre, Douce de l'Avent, résistantes à la tavelure...); à ce titre, il faut souligner l'important travail de création variétale chez le pommier de table (11 variétés sorties depuis 15 ans et améliorées pour la résistance à la tavelure).

Par ailleurs, des efforts importants ont été réalisés pour obtenir des variétés résistant simultanément à plusieurs bio-agresseurs. Ainsi, la tomate **Garance** est résistante à la fusariose, à la verticilliose, au virus de la mosaïque du tabac, au nématode à galle, à la maladie des racines liégeuses et à la bactérie *Pseudomonas tomato*. Des géniteurs de pomme de terre résistants simultanément au mildiou, au nématode à kyste et/ou à certains virus ont été diffusés aux obtenteurs privés dans la dernière décennie. Il faut aussi noter les travaux conséquents menés sur **les porte-greffe des légumes et des fruits pour la résistance aux parasites du sol**, en particulier les nématodes.

Dans le cas de résistances rapidement contournées par le parasite (mildiou de la pomme de terre, tavelure du pommier, ...), les équipes de recherche se tournent désormais vers l'élaboration et le développement de **résistances polygéniques plus complexes, plus difficiles à construire** mais aussi **probablement plus durables**.

Plus globalement, la **gestion durable des résistances** aux bio-agresseurs est un vaste chantier engagé un peu plus récemment qui nécessite des approches pluri disciplinaires et également sur le long terme. Elle vise à étudier les interactions entre les bio agresseurs et les variétés cultivées en relation avec le milieu, la concentration géographique des cultures et l'évolution des pratiques culturales. Des approches de **modélisation de ces phénomènes complexes** et interactifs sont développées pour une meilleure analyse de ces systèmes et un **déploiement raisonné des gènes de résistance**.

En conclusion, il s'agit bien maintenant pour l'Inra de contribuer à l'élaboration de stratégies pour **développer des idéotypes variétaux adaptés aux faibles intrants**.

2.2.2 Développement de modes de culture limitant les risques phytosanitaires

2-2.2.1 Mise en œuvre de méthodes alternatives pour lutter contre les maladies et ravageurs telluriques en maraîchage

Plusieurs modes de gestion à effets partiels peuvent être introduits, pendant la période d'inter culture, pour contrôler les populations de bio agresseurs telluriques : travaux du sol permettant de gérer les résidus de culture, introduction d'un couvert à effet assainissant (culture piège à nématodes, bio

fumigation, effet nutritifs favorisant les antagonismes), apport de matière organique, solarisation en régions méridionales. Ces méthodes ont souvent une efficacité à court terme très variable, surtout lorsqu'on les compare à l'efficacité d'un pesticide de synthèse. De plus, elles deviennent rapidement inopérantes si l'infestation du sol est importante. Ceci explique leur faible taux d'adoption. **L'association raisonnée de certaines d'entre elles** dans un même système de culture **devrait permettre de dépasser leurs limites individuelles** et ainsi de prévenir le développement des bio agresseurs dans les situations encore peu ou pas touchées par ces problèmes. Des résultats expérimentaux permettent également de supposer l'existence d'effets cumulatifs de l'emploi prolongé de ces combinaisons.

Les recherches, menées actuellement dans le cadre du GIS PIClég, sur les potentialités de nouvelles voies de gestion des maladies et des ravageurs ainsi que sur l'élaboration de stratégies raisonnées au niveau du système de culture produiront prochainement des résultats mobilisables par les agriculteurs.

2-2.2.2 Conduite des arbres fruitiers

Une approche originale de la conduite des arbres s'est développée en France sous l'impulsion de l'Inra au sein d'un réseau d'échange et de coordination entre la recherche, l'expérimentation et le développement (MAFCOT : Maîtrise de la Fructification : Concepts et Technique). Les concepts et les techniques développés visent à orienter le développement et la croissance des arbres vers des objectifs adaptés à une exploitation commerciale (faciliter les opérations culturales et les travaux manuels) mais aussi à augmenter l'efficacité d'utilisation de la lumière et sa répartition au sein de la canopée. Ces techniques recherchent l'obtention d'un équilibre entre la croissance végétative et le développement du fruit, en interaction avec le comportement naturel de l'arbre induit par sa composante génétique. Cet équilibre joue aussi un rôle important sur les processus d'initiation et de développement floral, donc sur la régularité et la pérennité de la production. Ces travaux ont donné lieu à de nombreuses propositions d'amélioration de la conduite des arbres sur la plupart des espèces fruitières avec une large diffusion, le pommier étant toutefois l'espèce emblématique pour cette démarche.

Sur pommier, les **manipulations de l'architecture**, en modifiant l'éclairage et le microclimat, ainsi que les distances entre les organes, **influencent le développement des bio agresseurs**, même si les effets ne sont pas univoques : les manipulations peuvent favoriser le contrôle de certains bio agresseurs (pucerons, acariens) mais parfois au détriment d'autres (carpocapse) du fait d'interactions complexes induites par les modifications des habitats (microclimat, distances de déplacement entre organes, porosité du couvert, accès des proies par les auxiliaires, etc.). Sur pêcher, la manipulation de l'architecture, combinée à une gestion hydrique instaurant des déficits hydriques contrôlés à certains stades de croissance du fruit, permet une réduction significative des pertes à la récolte par les maladies de conservation.

Les effets significatifs mais souvent partiels des manipulations de l'architecture sur les bio agresseurs soulignent l'intérêt de renforcer les études prenant en compte les cohortes de bio agresseurs et recherchant des synergies entre le matériel végétal, la conduite de l'arbre et les techniques culturales pour réduire la sensibilité des systèmes aux attaques des bio agresseurs.

2-2.2.3 Utilisation de filets anti-insectes

- En serre

Pour faire face à l'accroissement du risque de contamination des cultures sous serre par de nouveaux virus transmis par les aleurodes et les pucerons et en l'absence de matériel végétal résistant ou tolérant vis à vis de ces virus, l'une des préconisations a été d'**installer sur les ouvrants des serres** des filets à très petite maille pour interdire l'intrusion des insectes vecteurs de virus. La pose de ces filets anti-insectes à maille très fine proposés alors par les industriels s'est avérée efficace pour protéger les

cultures des insectes vecteurs, mais elle a eu pour conséquence du fait de la très forte réduction des échanges d'air entre la serre et l'extérieur, de modifier notablement le microclimat des serres avec une augmentation des températures et de l'hygrométrie très favorable au développement du *Botrytis cinerea* et fort désagréable pour les ouvriers serristes. En conséquence, les serristes ont été peu enclins à équiper leurs serres de filets et, avec un risque très élevé de viroses, ils ont été contraints de revenir à une lutte chimique conventionnelle seule capable d'assurer l'absence d'insectes vecteurs.

Face à ce verrou technique très préjudiciable au développement de la protection intégrée des cultures, l'Inra en partenariat avec la société Texinov a conçu et développé **un filet innovant**, à fils très fins à maille jetée, qui est à la fois exclusif vis à vis de la pénétration des insectes et dont la perméabilité à l'air est supérieure de 30 à 40% aux filets classiques. Ce filet dénommé **ULTRAVENT®** fait l'objet d'un brevet.

- En verger

D'introduction récente, la couverture des arbres par des filets (**méthode Alt'carpo**) est une des rares alternatives à même de réduire fortement l'usage des insecticides en arboriculture. Cette méthode présente l'originalité d'adapter un dispositif de protection physique (filet para-grêle) à la protection contre le carpocapse de la pomme. En partenariat avec les concepteurs de la méthode Alt'Carpo et d'autres organismes de développement, l'Inra réalise actuellement des recherches pour **quantifier l'économie potentielle de pesticides et identifier les mécanismes d'action sur les lépidoptères ravageurs** dans le but de prévenir d'éventuels contournements de cette méthode de lutte. Il s'agit aussi de vérifier les conséquences possibles, bénéfiques ou défavorables, sur les autres bio agresseurs et les auxiliaires, et sur la qualité de la production. Une évaluation environnementale est prévue par **l'Analyse du Cycle de Vie** pour évaluer la durabilité de la méthode et son impact global (énergie non renouvelable pour fabriquer les filets).

2.2.3 Mise en oeuvre de méthodes de protection biologique

2-2.3.1 Introduction d'auxiliaires

- En serre

Par son confinement et son fort niveau d'intensification, l'agro-système serre est particulièrement favorable au développement des ennemis des cultures (exemple pour la tomate : aleurodes, acariens, pucerons, thrips, mineuses, noctuelles, oïdium, botrytis, nombreux virus et maladies telluriques). En conséquence, la **protection intégrée sous serre** qui s'appuie beaucoup sur l'introduction d'auxiliaires de lutte biologique, nécessite de pouvoir disposer d'une **large gamme d'auxiliaires** et de bien connaître les conditions de meilleure efficacité.

L'Inra contribue à ce travail par la **recherche de nouveaux auxiliaires** et parmi les travaux récents, il faut citer ceux réalisés sur :

- ***Microdochium dimerum***, champignon antagoniste de la pourriture grise (*Botrytis cinerea*) ;
- ***Pseudaphycus flavidulus***, auxiliaire de la cochenille farineuse ;
- les **Trichogrammes** parasitoïdes de *Tuta absoluta*.

Des études portent également sur les conditions d'introduction et de développement des auxiliaires dans les cultures mais aussi de leur durabilité, avec pour exemples, l'utilisation des champignons entomopathogènes (*L. muscarium* ; *P. fumosoroseus*) et l'introduction en pépinière de la punaise entomophage, *Macrolophus caliginosus*, afin de lutter plus efficacement contre les aleurodes en serre.

- En verger

En arboriculture, dans le cadre d'un programme ANR, on peut mentionner, par exemple, les travaux récents sur la **lutte biologique contre la mouche de l'olive**, *Bactrocera oleae*, qui vise à tester l'efficacité du **parasitoïde d'origine africaine**, *Psytalia lounsburyi*, ennemi naturel et spécifique de la mouche de l'olive. Après avoir étudié la biologie de ce parasitoïde et mis au point la méthode de reproduction en conditions contrôlées, les premiers lâchers de l'auxiliaire *P. lounsburyi* sont intervenus en 2008 sur 60 sites expérimentaux situés sur le pourtour méditerranéen français. Depuis, les chercheurs étudient le maintien de cet auxiliaire dans les oliveraies, la densité des populations établies et sa dispersion géographique tout en suivant la démographie des populations de la mouche de l'olive et de ses parasitoïdes indigènes préexistants. Ce suivi a pour but d'évaluer la réussite ou l'échec de l'acclimatation et de sa pérennisation; la variabilité génétique des populations en cours d'acclimatation est également étudiée.

2-2.3.2 Conservation des habitats en verger

L'**aménagement de l'environnement** pour favoriser les auxiliaires procède d'une démarche de **lutte biologique par conservation**. L'objectif est d'augmenter la diversité végétale pour maintenir et pérenniser un complexe de prédateurs et de parasitoïdes à même d'être actif sur les bio agresseurs d'une culture. Ces principes qui font récemment l'objet d'études en cultures légumières, ont été appliqués en arboriculture fruitière depuis de nombreuses années (enherbement de l'inter rang, plantations de haies composites, etc.). Cependant, leur efficacité sur la régulation des populations d'arthropodes ravageurs relève de phénomènes nombreux et complexes expliquant des résultats parfois contradictoires.

Dans de nombreuses situations, les bénéfiques en termes de contrôle des principaux ravageurs du verger sont souvent partiels et insuffisants pour permettre de supprimer la protection phytosanitaire. Ainsi, la présence accrue d'auxiliaires dans le couvert herbacé ne s'accompagne pas toujours d'un contrôle accru des pucerons en verger de pommiers en AB.

Cependant, pour certains ravageurs dont la présence peut être tolérée à des niveaux de population relativement élevés, l'amélioration de la biodiversité végétale et donc de la richesse entomologique induit une augmentation de la prédation dont l'efficacité peut être suffisante pour contrôler ces ravageurs dans de nombreuses situations (cas du psylle du poirier, des acariens). De ce fait, il y a consensus sur l'intérêt d'une diversité contrôlée qui apparaît comme un facteur de stabilité écologique du verger. La **conservation des habitats** contribue à la recolonisation de la culture depuis l'environnement et **favorise la présence de prédateurs généralistes** à même de réguler de faibles niveaux de population de ravageurs. Cependant, des travaux sont encore nécessaires pour favoriser une diversité fonctionnelle ciblée sur une gamme d'auxiliaires particulièrement efficaces dans la limitation des principaux ravageurs de la culture. La démarche peut aussi intégrer la manipulation des habitats des ravageurs en vue d'optimiser la protection du verger.

A cette fin aussi, des travaux sont en cours, pour analyser **l'influence de certaines caractéristiques paysagères sur la dynamique des populations de bio agresseurs et la biodiversité fonctionnelle**. L'objectif est de pouvoir proposer des aménagements du paysage optimisant l'intensification écologique (organisation des systèmes de culture au sein du territoire, localisation d'habitats écologiques, etc.). Dans le cadre de l'utilisation de certaines techniques de protection des vergers comme la confusion sexuelle des lépidoptères la prise en compte d'échelle d'organisation supra parcellaire (blocs de 3 à 4 hectares) est déjà largement préconisée.

L'**aménagement paysager**, et aussi les pratiques agricoles, influencent les **communautés aviaires**. Les stratégies de protections phytosanitaires à base de composés de synthèse (conventionnel) diminuent significativement l'abondance et la richesse spécifique des communautés aviaires par rapport

à des vergers conduits en AB, ainsi que le niveau de reproduction de la mésange charbonnière. Le suivi des taux de reproduction des mésanges, grâce à l'installation de nichoirs dans les vergers, est d'ailleurs proposé comme un bio indicateur de la pression phytosanitaire et de la qualité écologique du milieu.

2-3 Élaborer des systèmes de production à haute performance environnementale par des approches intégratives

L'approche système qui se développe actuellement en arboriculture et cultures légumières a pour objectif de proposer des systèmes techniques cohérents dans leur globalité, prenant en compte les interactions entre les techniques et leurs effets partiels, ainsi que les principes de l'intensification écologique pour augmenter la régulation des bio agresseurs et réduire la sensibilité des cultures à leurs attaques. Les performances visées par les systèmes de culture sont de plus en plus nombreuses pour répondre aux enjeux agronomiques, technico-économiques, qualité des fruits et légumes, réglementaires, préservation de l'environnement et de sa biodiversité, etc.

2.3.1 Protection biologique intégrée sous serre florale et légumière

La **protection biologique intégrée** des cultures se définit comme une combinaison de méthodes (prophylaxie, choix de variété résistante/tolérante, adaptation de l'itinéraire technique, introduction d'auxiliaires biologiques) dans laquelle l'emploi des produits phytosanitaires est limité au strict minimum dans le but d'éviter des dégâts économiquement inacceptables. Sa mise en œuvre est complexe ; elle **nécessite une démarche globale** avec un raisonnement de toutes les interventions, une adaptation permanente à la situation sanitaire mais aussi une implication de l'ensemble des intervenants sur la culture. Des facteurs techniques (émergence de problèmes phytosanitaires, évolution des conditions de culture) peuvent brutalement compromettre cette méthode de protection des cultures, comme en témoignent les variations de superficie en Protection Biologique Intégrée au cours des 20 dernières années.

Dans ce contexte, en complément des programmes de recherche qui visent à lever des verrous techniques mentionnés ci dessus, l'Inra conduit des études visant à **améliorer la robustesse et la durabilité de ce mode de protection sanitaire** des cultures par une approche globale de l'agrosystème serre.

A partir des connaissances diverses utilisées de façon disparate, ces études ont permis d'élaborer pour les cultures de tomate et de rosier, une méthode de suivi basée sur un ensemble de règles d'action s'appuyant à la fois sur la détection précoce des populations de bio agresseurs et sur l'anticipation de leurs évolutions. La structure de cette méthode permet d'y intégrer facilement de nouvelles règles afin de pouvoir prendre en compte les évolutions techniques et phytosanitaires de ces cultures.

Testée en conditions expérimentales, cette méthode globale a permis de contrôler l'ensemble des bio agresseurs de la tomate et du rosier en réduisant considérablement le recours aux pesticides de synthèse. Elle doit à présent être validée en situation réelle de production.

2.3.2 Adaptation et approche multi-variétale de la gestion des parasites et ravageurs

La culture en bloc monovariétal de grande surface constitue un **risque** avéré et non négligeable de **diffusion épidémiologique**. Si les superficies consacrées à la culture des espèces légumières et fruitières sont moins étendues que celles des plantes de grande culture, les bassins de production sont toutefois spécialisés. La rotation des cultures légumières et la dispersion géographique des espèces sont un moyen de limiter les développements parasitaires. De plus, la situation géographique et son climat peuvent avoir une grande influence sur le développement de certains bio agresseurs (réduction

du feu bactérien avec l'altitude, effet favorable du climat océanique sur le développement de la tavelure, augmentation du nombre de générations des bio agresseurs sous climat méditerranéen ou du fait du changement climatique, etc.). Ces spécificités, qui ont souvent été négligées du fait de la forte efficacité de la lutte phytosanitaire, doivent mieux être prises en compte lors de l'implantation des cultures et des choix variétaux pour répondre aux enjeux environnementaux. Concernant le matériel végétal, l'Inra étudie aussi l'incidence de vergers pluri-variétaux sur le développement parasitaire. Ainsi, pour le contrôle de la tavelure du pommier, les mélanges variétaux permettent une diminution sensible de l'infection.

2.3.3 Systèmes de culture en Arboriculture Biologique

En arboriculture biologique, la régularité de la production et la gestion du risque parasitaire posent problème. La lutte directe contre les parasites se révèle souvent insuffisante ou à effet partiel. Il est donc nécessaire de **repenser le système** et de mettre en œuvre de nouvelles règles d'action. Un programme de recherche visant l'optimisation des techniques en arboriculture biologique est engagé depuis 1993. Il a permis de préciser les choix structurels et de conduite du verger pour **maximiser les potentialités de régulation de l'agro-écosystème et réduire les facteurs favorisant les attaques des bio agresseurs**, lors de l'implantation du verger (aménagement, choix de plantation, etc.) et dans sa gestion sur le long terme (manipulation de l'architecture, prophylaxie, lutte biologique). Cette étude a apporté une expertise nouvelle sur les pratiques professionnelles de gestion du verger. Elle a permis d'identifier les problèmes techniques nécessitant des efforts de recherche. Ces travaux précurseurs ont servi pour les études systémiques engagées par la suite pour d'autres stratégies de production.

2.3.4 Conception de systèmes arboricoles à bas intrants

L'**approche système** est développée par l'Inra dans le cadre d'un essai en verger de pommiers. Dans un premier temps, un travail de conception a permis de définir **trois systèmes de protection**, avec leur jeu de règles de décision. Alors qu'un premier système est protégé de manière conventionnelle (Rai), le deuxième est conçu pour n'utiliser les pesticides qu'en dernier recours (Eco) ; enfin, le troisième répond au cahier des charges de l'agriculture biologique (Bio). Chaque système, planté avec **trois variétés plus ou moins sensibles à la tavelure**, intègre des exigences graduées en termes de qualité commerciale et de gestion du risque.

Le **dispositif BioREco**, implanté en 2005, vise à **évaluer le niveau d'utilisation des pesticides et les performances agronomiques** (incluant la qualité des fruits), **technico-économiques et environnementales** des différents systèmes. Il sert aussi de support pour tester la pertinence de différents **indicateurs d'impacts environnementaux** comme l'Analyse de Cycle de Vie (ACV). Les premiers résultats, obtenus sur la période juvénile du verger, montrent une **réduction moyenne de l'ordre de 50 % de l'IFT** entre la combinaison protection conventionnelle - variété sensible et la combinaison protection économe en intrants - variété peu sensible. Leur obtention nécessite la mise en œuvre de stratégies et de méthodes de prophylaxie innovantes, incluant l'utilisation de seuils d'intervention adaptés, ainsi qu'une observation fine du verger pour intervenir seulement en fonction de risque effectif pour la production.

L'intérêt de cette approche systémique et les apports méthodologiques de l'Inra ont conduit à la mise en place de différents essais systèmes en pommiers (pomme de table et pommier cidricole) et sur fruits à noyau (pêcher et prunier) au travers d'une action en partenariat. Les objectifs sont de **concevoir des systèmes économes en intrants phytosanitaires**, mais aussi **en eau d'irrigation et en fertilisants, tout en assurant la viabilité économique des exploitations fruitières**. Cette dynamique autour de la conception de **systèmes à Haute Performance Environnementale et Economique** pourrait se développer dans d'autres contextes et d'autres productions (olivier, etc.).

3 - Analyse critique et perspectives

Cette analyse, qui est la synthèse d'un premier travail d'experts disciplinaires de l'Inra, ouvre des perspectives. Elle n'est cependant pas encore exhaustive en ce qui concerne les recherches conduites à l'Inra pour l'amélioration des performances environnementales dans les filières fruits et légumes. Par ailleurs, elle ne concerne que la partie « production » des filières ; mais dans le cadre d'une étude conjointe Inra - Cirad, d'autres analyses sont en cours sur les performances environnementales de la transformation, de la distribution et de la consommation pour les principales filières agricoles à vocation alimentaire, dont les fruits et légumes.

Pour l'horticulture, il apparaît un manque réel de données dans le domaine des performances environnementales. On ne dispose que de très peu d'études statistiques sur les apports en eau et en engrais dans les différents systèmes de culture. On ne dispose pas encore d'enquêtes réalisées par le Service de la Statistique et de la Prospective du Ministère en charge de l'agriculture sur les pratiques dans le domaine des produits phytosanitaires, comme celle réalisée pour les grandes cultures et la viticulture ; mais elles sont prévues dans un avenir proche. Toutefois, un rapport de 2006, portant sur la mise en œuvre d'un plan national « Serres Energies », donne des informations sur les pratiques de chauffage et les dépenses en énergie en horticulture sous serres.

En tant qu'initiateur de projets ou à titre de partenaire, l'Inra est impliqué, dans des programmes de recherche sur le développement de matériel végétal adapté, l'efficacité des intrants, sur la limitation ou la substitution de certains d'entre eux ainsi que dans la « re-conception » de systèmes de production. Sur certaines thématiques environnementales, les contributions de l'Inra sont réduites comme par exemple sur le traitement et le recyclage des déchets, car ces domaines sont abordés par d'autres organismes (Cemagref, Instituts Techniques). Récemment, certaines problématiques sont devenues, au sein de l'Inra, des questions de recherche prioritaires (écologie fonctionnelle des agro-systèmes, organisation spatiale des systèmes de culture au sein d'un territoire). La complexité de ces sujets nécessitera un partenariat très large avec d'autres organismes de recherche et différents acteurs impliqués dans l'écologie l'étude de l'organisation et de la gestion des territoires.

Il apparaît aussi un manque d'indicateurs robustes pour mesurer les incidences environnementales des pratiques agricoles. Il en est de même pour l'élaboration des dispositifs d'acquisition de références économiques permettant d'évaluer la faisabilité et la viabilité économique des nouvelles pratiques proposées, ce qui va de pair avec leur adoption à large échelle. De même, si certains scénarios techniques étudiés pour permettre une réduction importante de l'usage des intrants peuvent apparaître très contraignants en termes de gestion et d'organisation au sein des exploitations, il est cependant nécessaire que la recherche puisse prospecter différentes voies sans s'imposer *a priori* de trop nombreuses contraintes pouvant freiner l'activité d'innovation. Certaines solutions proposées, apparaissant *in fine* non adaptées à un système de production donné, peuvent être d'un grand intérêt pour le développement de systèmes de culture ne présentant pas les mêmes contraintes ou se positionnant dans un autre contexte (ex. commercialisation de proximité vs. le marché de l'exportation).

Enfin, l'analyse réalisée par filière peut aussi avoir aussi ses limites. Par exemple, les systèmes légumiers de plein champ destinés à la transformation industrielle sont en forte interaction avec les filières grandes cultures. L'analyse de leur impact environnemental n'est vraiment pertinente que sous un angle plus systémique : l'introduction de cultures légumières au sein des successions de grandes cultures pourrait permettre une réduction d'usage des pesticides par rupture des cycles biologiques de bio agresseurs ou des adventices qui ne serait pas possible sans cette diversification. L'augmentation des performances environnementales des productions fruitières et légumières passe donc par une approche pluridisciplinaire et en interaction avec les autres systèmes de production.

La problématique haute performance environnementale ne peut pas être déconnectée des autres

composantes de la durabilité des systèmes, l'économie et le social. L'Inra aborde ces questions complexes en très forte interaction avec de nombreux partenaires. Pour cela, l'Inra renforce ses structures d'interface notamment au travers des groupes filières et de Groupements d'Intérêt Scientifique (GIS) qui apparaissent comme des lieux d'échanges, de réflexion et de coordination et de partenariat avec le monde professionnel agricole et d'autres partenaires sociaux. Le GIS PIClég (Production intégrée en cultures légumières) mis en place il y a trois ans par l'Inra et les partenaires techniques et socioprofessionnels et bientôt le GIS « Fruits » sont des instances de concertation entre les acteurs visant à développer un programme national et pluridisciplinaire de recherche et de développement qui permette une approche intégrative et participative.

Remerciements

Nous remercions P.E. Lauri, S. Simon et les membres du Groupe Filières Fruits et Légumes de l'Inra pour leur participation à ce travail collectif de synthèse sur les cultures fruitières et légumières à hautes performances environnementales

Pour en savoir plus :

http://www.inra.fr/ciag/colloques_agriculture/protection_integree_arbo_viti/les_documents_complementaires_du_colloque_du_22_novembre

http://www.inra.fr/ciag/colloques_agriculture/varietes_et_modes_de_cultures

http://www.inra.fr/ciag/colloques_agriculture/innovation_en_agriculture_biologique