

repères dans le paysage agricole français

L'écologisation des pratiques en arboriculture et maraîchage. Enjeux et perspectives de recherches

Mireille Navarrete, Stéphane Bellon, Ghislain Geniaux, Claire Lamine, Servane Penvern, Natacha Sautereau, Marc Tchamitchian

INRA, unité Écodéveloppement, Site AgroParc, 84914 Avignon cédex 09.

{navarrete, bellon, geniaux, clamine, servane.penvern, natacha.sautereau, arm}@avignon.inra.fr

Les systèmes horticoles (arboriculture et maraîchage) sont parmi les plus intensifs en main d'œuvre et en intrants ; la production conventionnelle repose sur un usage intense des produits phytosanitaires, pour satisfaire les critères d'accès aux circuits commerciaux des grandes et moyennes surfaces, et en particulier le « zéro défaut visuel ». Le secteur des fruits et légumes est extrêmement concurrentiel du fait de la faible part des aides (européennes, nationales) et souffre d'une forte distorsion des coûts de production entre états membres. Ces dernières années, la problématique de l'écologisation de l'agriculture¹, pour une meilleure préservation de l'environnement mais aussi de la santé des consommateurs, a particulièrement accru la pression sur le secteur des fruits et légumes, notamment à travers le lancement du programme Écopyto 2018 qui vise à réduire de 50% les intrants chimiques à horizon 2018, ou encore avec les incitations au développement de l'agriculture biologique. Mais l'écologisation des systèmes horticoles est particulièrement contrainte sur un plan technique et économique. Il s'agit en effet de trouver des systèmes alternatifs qui soient à la fois performants sur le plan agronomique et écologique, mais aussi économiquement et socialement acceptables. Sur la base de plusieurs travaux de recherche en sciences techniques et sciences sociales réalisés à l'unité Écodéveloppement de l'INRA depuis une dizaine d'années, nous proposons une analyse des enjeux et des perspectives d'écologisation des pratiques dans ces systèmes.

Nous développerons dans cet article trois thèmes principaux : les performances que doivent viser les nouveaux systèmes écologisés, les moyens d'action et les leviers à mobiliser pour les concevoir, et les dispositifs d'acteurs dans lesquels s'insère la recherche de nouveaux systèmes.

À ces trois questions, nous apportons des éléments de réponse appuyés par des exemples concrets issus de nos travaux en arboriculture et en maraîchage, en production intégrée ou en agriculture biologique.

Quelles performances doivent atteindre les systèmes écologisés ?

Le développement de systèmes de production écologisés suppose d'enclencher une dynamique d'amélioration conjointe de l'ensemble des performances écologiques, agronomiques, économiques et sociales, à l'échelle de l'exploitation comme à celle du territoire. En première approche, on peut distinguer :

- des performances socio-économiques directement liées au revenu et au bien-être des agriculteurs : rendements, qualité des produits, coûts de production, marges, temps, conditions de travail ;
 - des performances agro-écosystémiques qui conditionnent l'évolution des capacités du milieu à remplir ses fonctions productives à plus ou moins long terme : fertilité du sol, infrastructures et aménagements fonciers inter ou extra-parcellaires, mais aussi stocks de graines d'adventices ou de bioagresseurs inféodés à la parcelle, etc.
- Dans ce cas, l'environnement est un facteur de production qu'il s'agit de gérer à l'échelle de la

1. Voir aussi le colloque Écologisation des politiques publiques et des pratiques agricoles (Avignon 16-18 mars 2011), où ces travaux ont été présentés, <http://www4.paca.inra.fr/ecodeveloppement/Colloque-2011>.

parcelle ou de l'exploitation, voire au-delà, pour fournir des services écosystémiques.

– des performances environnementales dont la nature dépend des cibles considérées : consommation de ressources non renouvelables (énergie fossile, ressources minières pour P et K), altération ou amélioration de la qualité des ressources (eau, air, sol, *etc.*), effets sur les êtres vivants et les écosystèmes, accroissement ou réduction de la biodiversité. Dans ce cas, on s'intéresse aux externalités sur l'environnement, qu'elles soient négatives comme la pollution des eaux par les pesticides, ou positives comme l'amélioration de la vie du sol par certaines pratiques culturales.

Les dispositifs de soutien financier et d'accompagnement (conseil, formation, organisation de filière) mis en place par les politiques publiques ou par d'autres types d'actions collectives influent directement sur ces performances. S'ajoutent également des motivations et facteurs non marchands porteurs de « valeurs ». Ainsi, les considérations éthiques et morales, par exemple être en cohérence avec ses convictions, ou encore sociales (démontrer aux autres son engagement en faveur de l'environnement), se révèlent importantes (Mzoughi, 2009). Ces motivations et principes entrent dans le choix des modes de production et interagissent avec les performances objectivables citées plus haut. Ils doivent donc être également considérés dans l'appréciation des performances globales des systèmes écologisés et dans les exercices comparatifs.

Concilier différents types de performances

Afin d'évaluer les diverses composantes de la durabilité des agro-écosystèmes, une multitude de méthodes à base d'indicateurs (IDEA, Diagnostic RAD, outil MASC) a été développée depuis les années 1990. Les indicateurs proposés peuvent être combinés, voire agrégés, pour suivre les performances depuis le local (la parcelle) jusqu'au national (Reau et Doré, 2008). Ces systèmes d'indicateurs sont très hétérogènes selon l'institution et le cadre théorique de référence. L'utilisateur doit se questionner sur les modèles agricoles souhaitables qui sous-tendent les indicateurs proposés (Capitaine *et al.*, 2009), sur la pondération relative qu'ils accordent aux différentes catégories de performances, et sur les valeurs de référence utilisées pour interpréter les indicateurs.

Pour les systèmes en agriculture biologique, nous avons évalué conjointement les différentes performances productives, environnementales, sociales et économiques dans leurs

dimensions quantitatives et qualitatives, et mis en évidence les liens entre ces performances, dans le secteur de l'arboriculture (Sautereau *et al.*, 2011).

Performances agronomiques

Nos analyses en vergers de pêchers ont montré des rendements et des calibres plus faibles en agriculture biologique qu'en agriculture conventionnelle, jusqu'à -20% en vergers expérimentaux et jusqu'à -50 % en vergers de producteurs (Sautereau *et al.*, 2011) – de même pour le dispositif expérimental BioReco de l'INRA de Gotheron comparant des vergers de pommiers conduits en production intégrée à bas intrants et en agriculture biologique (Simon *et al.*, 2009). Cette baisse s'opère pendant plusieurs années après la conversion jusqu'à ce que la situation se stabilise. Les producteurs expliquent qu'il faut du temps pour que les processus d'auto-régulation des bioagresseurs se mettent en place ; ils pointent aussi la difficulté à maîtriser les phénomènes d'alternance, source de variabilité des rendements.

Cependant il faut noter que ces résultats concernent souvent des variétés sélectionnées pour l'agriculture conventionnelle, qui sont de fait peu adaptées à l'agriculture biologique. Ainsi, les écarts de rendement peuvent être beaucoup plus faibles si l'on utilise des variétés résistantes aux maladies, comme par exemple à la tavelure. En outre, cette diminution des rendements s'accompagne d'une augmentation de la qualité estimée sur plusieurs critères : jutosité, teneurs en sucre et polyphénols, intéressants pour leurs propriétés anti-oxydantes (Fauriel *et al.*, 2009). Ainsi, il conviendrait de pondérer le rendement au regard des autres performances agronomiques, notamment qualitatives.

Performances économiques

Si les rendements des systèmes écologisés sont un élément important à étudier, ils ne sont pas pour autant un critère de profitabilité. En analysant des échantillons d'exploitations biologiques et conventionnelles ayant des caractéristiques similaires (données MSA sur l'ensemble de la région PACA), on a observé une profitabilité accrue de l'agriculture biologique, tous secteurs de production confondus, de l'ordre de 20 % (Lepoutre, 2010). Ce résultat est toutefois largement conditionné par le poids de la viticulture et on note une tendance à la réduction de cette meilleure performance économique de l'agriculture biologique entre 2000 et 2010. A l'instar de Reganold *et al.*, (2001), on constate également, sur un échantillon d'arboriculteurs enquêtés, des résultats économiques plus stables en agriculture

biologique qu'en agriculture conventionnelle du fait de meilleurs prix de vente au kilogramme et à une moindre variabilité des prix. Par conséquent, les rendements moindres sont compensés par les prix plus stables et supérieurs. Cette stabilité des résultats économiques s'accompagne aussi d'une plus grande autonomie, à la fois dans l'approvisionnement en intrants et dans la mise en marché, servie elle-même par une plus grande diversification des productions (en espèces et en variétés). Enfin, le seuil de rentabilité des vergers en agriculture biologique est atteint plus rapidement et la durée de vie des plantations peut être supérieure à l'agriculture conventionnelle.

Cependant, les comparaisons de profitabilité ne rendent souvent pas bien compte de certaines étapes de trajectoires où la conversion constitue une stratégie de « survie ». Les études de performances économiques devraient donc tenir compte de la capacité de chaque système de production à pérenniser l'activité ou à éviter l'abandon agricole.

Performances sociales

La plupart du temps, l'écologisation des pratiques génère du temps de travail supplémentaire, ce qui peut représenter un atout pour la société en termes de création d'emplois, mais une charge à l'échelle de l'exploitation. Les différences nettes d'emploi entre agriculture biologique et conventionnelle sont en cours d'estimation pour la région PACA dans le cadre d'un projet coordonné par l'unité (EPAB²). Pour l'arboriculture, il semble que le passage à l'agriculture biologique génère du travail supplémentaire pour l'exploitant (35 UTH par 10 000 tonnes produites en agriculture biologique contre 25 en conventionnel), ce qui est créateur d'emploi dans la moitié des cas (Petitgenet, 2010). En maraîchage, il semble que l'augmentation de la charge en travail soit plus liée à la diversification des cultures qui s'opère au moment de la conversion qu'à l'augmentation intrinsèque du temps de travail (Navarrete *et al.*, 2012).

Quelle que soit l'évolution de la charge en travail, le passage en agriculture biologique s'accompagne d'une perception plus positive de leur métier par les agriculteurs. Interrogés sur leur qualité de vie, ils lui donnent une note moyenne de 8/10, invoquant d'abord la satisfaction personnelle, contre 6,4/10 pour ceux qui travaillent en agriculture conventionnelle, qui font davantage

référence des prix instables et trop bas. Cette performance « non marchande » de l'agriculture biologique, souvent non prise en compte dans l'évaluation des modes de production, se réfère à des objectifs de reconquête de sens et de cohérence dans le métier d'agriculteur.

L'évaluation environnementale

Réduire les externalités négatives

L'horticulture représente moins de 2% de la surface agricole utile française, mais utilise respectivement 5,2 % (arboriculture fruitière) et 4,7 % (légumes et plantes ornementales) des produits phytosanitaires utilisés en France (Jeannequin *et al.*, 2011). Les arboriculteurs en agriculture biologique font en moyenne moins de traitements que ceux en agriculture conventionnelle, mais c'est aussi au sein de l'agriculture biologique que l'on rencontre la plus grande diversité de pratiques (Petitgenet, 2010). Les exploitations en conversion traitent, quant à elles, presque aussi souvent que celles en agriculture conventionnelle. Ceci peut paraître surprenant mais s'explique par la transition nécessaire pour passer en bio : dans un premier temps, la conversion se résume souvent à utiliser les produits phytosanitaires autorisés par le cahier des charges (Substitution), avant la mise en œuvre progressive d'une gestion intégrée et globale d'un agro-écosystème (Reconception) dont la maîtrise nécessite expériences et connaissances nouvelles (Lamine *et al.*, 2008). Ces constats interrogent la performance écologique sur le long terme de l'agriculture biologique, du fait de l'utilisation importante de produits pouvant se révéler toxiques (tels que la roténone, le cuivre) en phase de Substitution (Pevern *et al.*, 2010), mais aussi du fait du nombre élevé d'applications de produits moins efficaces, ce qui peut générer des résistances (Boivin et Sauphanor, 2009).

Utiliser les services écosystémiques

L'environnement doit être considéré comme un facteur de production, et non plus seulement en termes d'impact de la production sur ses compartiments (Fleury *et al.*, 2010). Par l'amélioration des services écosystémiques, incluant la biodiversité, la fertilité du sol et la pollinisation, il s'agit de renforcer les mécanismes d'auto-régulation biologique, de fermer les cycles des minéraux pour limiter les pertes (par exemple par le compostage)... Cela nécessite d'utiliser plus de connaissances pour générer un plus haut niveau d'organisation par unité de surface (Niggli *et al.*, 2009). Cette intensification éco-fonctionnelle mise à l'agenda en agriculture biologique rejoint ainsi les concepts de l'agro-écologie

2. Évolution des performances et formes d'organisations innovantes dans les transitions vers l'agriculture biologique. Réponse à l'appel d'offre AgriBio3 du CIAB, http://www.inra.fr/comite_agriculture_biologique/les_recherches/par_thematique/developpement_ab/epab

(Wezel *et al.*, 2009). En revanche, certains itinéraires techniques alternatifs ne mobilisent pas de fonctionnements agro-écologiques. Par exemple l'innovation technologique qui consiste à envelopper les rangées d'arbres avec des filets de protection « Alt'Carpo » pour éviter le carpocapse soustrait les arbres à leurs interactions avec l'écosystème aérien. Des systèmes peuvent donc être performants du fait de moindres externalités négatives sur l'environnement, tout en n'étant pas performants sur l'usage de ressources environnementales vues comme facteur de production.

De la conciliation des performances à une combinaison de fonctions

La plupart des évaluations des systèmes écologisés se font par comparaison avec l'agriculture conventionnelle. Mais est-il pertinent d'utiliser les mêmes critères de performances, les mêmes indicateurs, les mêmes outils d'aide à la décision qu'en agriculture conventionnelle ? En effet, les référentiels choisis, basés par exemple sur la productivité par hectare, sont extrêmement corrélés aux modèles à évaluer. Comment évaluer davantage sur le temps long, plutôt qu'à l'échelle de l'année ? De nouvelles valeurs de référence, d'autres hiérarchisations, d'autres seuils, et d'autres optima (Sautereau *et al.*, 2010a) sont nécessaires pour évaluer correctement les systèmes écologisés, au regard de leurs propres finalités et systèmes de valeurs.

Des biais de sélection dans l'évaluation des performances

Nemes (2009) a mis en avant la difficulté à produire des analyses comparatives fiables sur les performances économiques. La majorité des estimations, qu'elles s'intéressent à la rentabilité, aux fonctions de production ou aux rendements agronomiques s'appuient sur des comparaisons entre agriculture biologique et conventionnelle ne prenant pas en compte la présence de biais de sélection. Or les caractéristiques des exploitations (structure, emploi) ainsi que la taille des échantillons sont différentes en agriculture biologique ou en agriculture conventionnelle. Pour tenir compte de ces biais, nous avons choisi de travailler à une évaluation des effets nets de l'adoption de l'agriculture biologique sur les performances économiques et sur l'emploi³. Comme nous l'avons évoqué plus haut, le fait que la conversion puisse s'inscrire dans une stratégie de survie introduit un effet de rétrécissement de l'échantillon (*drop*

3. Les effets nets sont évalués dans le cadre de modèles statistiques avec appariement visant à constituer des groupes de contrôle en agriculture conventionnelle comparables aux groupes des exploitations converties à l'agriculture biologique (voir Imbens et Wooldridge, 2009) à partir de données exhaustives à l'échelle des territoires étudiés.

out effect) complexifiant le traitement du biais de sélection. En effet, l'éventuelle faiblesse des performances économiques de ce type d'exploitation en difficulté lorsqu'elles se convertissent à l'agriculture biologique ne doit alors pas être comparée aux performances moyennes des exploitants toujours en activité en agriculture conventionnelle, mais doit intégrer dans le calcul les exploitations conventionnelles ayant arrêté leur activité pour des raisons économiques. On évalue actuellement différentes pistes pour corriger cet effet.

Sur quelles bases concevoir de nouveaux systèmes écologisés ?

Il s'agit de valoriser les fonctions écologiques de l'agro-écosystème tout en sachant que certaines d'entre elles peuvent générer des contreperformances : dans certains cas, aménager l'environnement proche de la parcelle peut augmenter à la fois les populations d'auxiliaires, mais aussi de bioagresseurs à l'origine d'une perte de production. La construction de nouveaux systèmes nécessite donc au préalable une définition et une hiérarchisation précise des objectifs, puis une évaluation multidimensionnelle de ces systèmes. En maraîchage comme en arboriculture, la forte dépendance des systèmes aux intrants phytosanitaires fait de la protection des cultures un enjeu crucial de l'écologisation. Nous décrivons un certain nombre de leviers qui visent à gérer des populations de bioagresseurs afin d'éviter que les perturbations engendrées par leurs dynamiques n'affectent les performances escomptées, agronomiques, environnementales et économiques.

Stratégies de protection écologisées

La protection des plantes s'est longtemps résumée à des interventions curatives et éradicantes des bioagresseurs à partir de produits monocible ou à large spectre (Lewis *et al.*, 1997). Toutefois des ravageurs secondaires et des phénomènes de résistance aux produits sont apparus en même temps que des conséquences environnementales et sanitaires défavorables. Ceci s'applique également à l'agriculture biologique et aux produits autorisés par son cahier des charges (Wyss *et al.*, 2005 ; Boivin et Sauphanor, 2005). Aussi, même si la réglementation le permet, l'utilisation de produits en agriculture biologique n'est pas toujours souhaitable et ne devrait en aucun cas être une solution unique. L'efficacité souvent partielle et la faible rémanence des biopesticides contraignent les agriculteurs à répéter les traitements, ce qui conduit à des IFT aussi, voire plus, élevés qu'en agriculture conventionnelle (Penvern *et al.*, 2010; Petitgenet, 2010).

Encadré 1. La protection intégrée

La protection intégrée s'appuie sur des stratégies préventives basées sur une approche globale de l'agro-écosystème et la valorisation de ses capacités de régulation. Lorsque celles-ci ne sont pas suffisantes, elles sont suivies de méthodes d'élimination des bioagresseurs grâce à des bio-pesticides ou agents de contrôle biologiques ou physiques; les pesticides chimiques n'étant préconisés qu'en dernier recours. La protection intégrée associe deux types d'approches :

- l'approche systémique qui consiste à minimiser l'impact des perturbations engendrées par les bioagresseurs en dotant l'agro-écosystème de capacités d'auto-régulation.
- l'évitement des perturbations, moyennant le contrôle direct des processus sous-jacents. Autrement dit, il s'agit de « vivre avec » tout en minimisant les conséquences sur les cultures, jusqu'à un certain seuil à partir duquel il faut « lutter contre » grâce à l'utilisation de moyens d'intervention directs et ciblés. Alors que la première relève d'une approche agro-écosystémique, également dans le but de valoriser ses services, la seconde consiste en une gestion des moyens de lutte compatibles avec les performances visées relevant davantage d'une approche analytique « un problème – une solution » (Ricci *et al.*, 2012).

Sans moyen curatif très efficace, il faut considérer et évaluer l'ensemble des leviers permettant de contenir le développement des bioagresseurs sous le seuil de nuisibilité (Lucas, 2007). En arboriculture comme en maraîchage, les méthodes alternatives (prophylactiques, par aménagement du milieu, par contrôle direct...) n'ont individuellement que des effets partiels. Mais mobilisées conjointement ou cumulées sur plusieurs années, dans une démarche de protection intégrée, elles sont susceptibles de maintenir les bioagresseurs en dessous du seuil de nuisibilité (encadré 1).

Par ailleurs, l'écologisation d'un verger peut se faire soit dès sa conception dans le cas d'une installation, soit à partir du verger existant, situation plus délicate en raison des contraintes imposées par les variétés et conditions d'implantation, souvent peu malléables à court terme. Nous présenterons dans un premier temps comment la conception *de novo* de l'agro-écosystème et de ses composantes permet de limiter les risques et l'utilisation d'intrants phytosanitaires. Dans un deuxième temps, nous étudierons les différents moyens agronomiques pour écologiser les systèmes existants en nous appuyant sur le cadre ESR (voir encadré 2).

Favoriser les mécanismes de régulation naturelle et le potentiel génétique dès la conception du système

La conception d'un système de culture écologisé doit être réfléchi de manière à favoriser les mécanismes et capacités de régulation naturelle à l'échelle de l'agro-écosystème, au-delà de la seule parcelle ou du bloc de parcelles (Lewis *et al.*, 1997 ; Brown, 1999 ; Altieri and Nicholls, 2000).

Le choix des parcelles

À l'échelle d'une exploitation agricole, les caractéristiques des milieux peuvent être très variées. Le choix du site d'établissement de l'exploitation ainsi que la localisation des terrains cultivés dans l'exploitation sont de la plus grande importance et constituent les premières étapes d'une stratégie phytosanitaire (Wyss *et al.*, 2005). Il s'agit de retenir les parcelles les moins sensibles, aux conditions pédo-climatiques favorables et situées dans un environnement «sain» du point de vue de la pression parasitaire.

Le choix variétal

La génétique conditionne également beaucoup la sensibilité du milieu aux bioagresseurs. En arboriculture, les variétés de pommier dominantes en France sont les plus gourmandes en intrants phytosanitaires, alors qu'il apparaît essentiel de choisir les variétés et porte-greffes sur d'autres critères que ceux classiques de productivité (calibre, rendement), prenant en compte le comportement physiologique (vigueur, port de l'arbre) et la sensibilité aux bioagresseurs. Les travaux de sélection ont abouti à une collection de variétés performantes et résistantes à certains bioagresseurs (tavelure, cloque, oïdium, pucerons) et offrent ainsi une gamme de plus en plus large (Fauriel, 2009). Cette réflexion à l'échelle de l'individu s'applique également aux échelles des populations et associations de cultures (e.g. avec des mélanges d'espèces ou de variétés horticoles, permettant de faire varier la sensibilité du peuplement hôte et de réduire la pression des bioagresseurs). Le choix variétal confère par ailleurs d'autres propriétés telles qu'une plus grande sécurité face aux aléas en minimisant les phénomènes d'alternance.

L'aménagement d'un environnement favorable

La configuration du verger préconisée en agriculture conventionnelle (haies et peuplements mono-spécifiques, arbres en mur fruitier), *etc.* ne favorise pas la régulation naturelle (Debras *et al.*, 2008 ; Altieri, 1999). D'où l'intérêt de combiner

plusieurs strates végétales, moyennant des distances de plantation supérieures entre les arbres. Ces végétations jouent le rôle de zones refuges favorables à la biodiversité végétale et animale. Des aménagements tels que des nichoirs à oiseaux, des piquets à rapaces, points d'eau pour les chauves-souris ou abris à arthropodes (forficules, coccinelles, syrphes, *etc.*) sont autant de moyens qui augmenteront la capacité du verger à s'autoréguler.

L'efficacité de la lutte biologique par conservation reste toutefois très variable selon les espèces, leurs traits fonctionnels et les dynamiques de populations (Loreau *et al.*, 2001; Simon *et al.*, 2010). Le plus souvent, les populations d'auxiliaires qui se développent en réponse aux infestations n'arrivent en quantité suffisante que tardivement au cours du cycle de culture. Bien que les bénéfiques en termes de contrôle des principaux ravageurs du verger soient souvent partiels et insuffisants pour permettre de s'affranchir d'une protection phytosanitaire et atteindre une « autonomie sanitaire », une biodiversité maîtrisée peut être facteur de « stabilité » pour le verger, en favorisant la présence de prédateurs généralistes à même de réguler de faibles niveaux de population de ravageurs (Simon *et al.*, 2009).

Une réflexion plus globale vise à intégrer l'ensemble des connaissances disponibles dans le but de concevoir des vergers innovants et durables (Bellon *et al.*, 2009; Penvern *et al.*, 2012a). A partir des propriétés attendues d'un verger productif et durable, différents prototypes sont à l'étude. Ils combinent un agencement original de la parcelle, source de diversité accrue et d'interfaces d'échanges avec une architecture innovante de l'arbre, la conduite centrifuge, qui vise à créer un puits de lumière au centre de l'arbre et qui a un effet freinant vis-à-vis de certains pucerons et acariens et de la tavelure (Simon *et al.*, 2009).

Écologiser les stratégies de protection : de l'efficience à la reconception

Nous nous sommes basés sur le référentiel ESR (pour Efficience-Substitution-Reconception, voir l'encadré 2) de Hill et MacRae (1996). Ses principes généraux – valoriser les synergies entre techniques, cultures et organismes vivants, aux échelles spatiales appropriées – relèvent de l'agronomie, mais sont aussi mis en avant par l'agro-écologie qui revendique justement une approche de type systémique (Altieri et Nicholls, 2000 ; Gliessman, 2007). Les différentes stratégies de protection observées sur le terrain ont été décrites selon ce référentiel ESR.

Encadré 2. Le référentiel ESR

Le référentiel ESR (Efficience-Substitution-Reconception) a été utilisé pour décrire les modifications des pratiques de protection et distinguer les différents leviers d'action agricoles (Hill and MacRae, 1996 ; Hill *et al.*, 1999). Dans le premier cas (Efficience), l'utilisation des intrants est optimisée pour synchroniser et cibler leur application aux risques d'infestation ce qui permet de réduire le nombre d'application et les volumes appliqués. Le développement d'outils de détection des maladies et de modèles de prévision, la technicité du matériel de pulvérisation, les formulations des intrants sont autant de marges de manœuvre pour l'amélioration de l'Efficience. Dans le deuxième cas (Substitution), les intrants de synthèse sont substitués par des intrants alternatifs (biopesticides ou agents de contrôle biologiques), ou par la combinaison de techniques à effet partiel. Les pôles E et S de ce référentiel ne remettent pas fondamentalement en cause le fonctionnement des systèmes de culture ni leur conception. Ils permettent cependant de réduire l'usage et la consommation d'intrants coûteux, rares ou dommageables pour l'environnement. Dans le troisième cas (Reconception), il s'agit d'intervenir sur les composantes mêmes du système, organisationnelles ou structurelles, pour favoriser les mécanismes de régulation naturelle de l'agro-écosystème et de traiter la cause des problèmes se manifestant dans les deux premiers pôles. On mobilise par exemple le potentiel génétique des espèces cultivées, la régulation naturelle des bioagresseurs par leurs ennemis naturels et les méthodes culturales favorables à un environnement sain. Ce dernier levier modifie non seulement les itinéraires techniques mais aussi les rotations et amène à reconcevoir le système dans sa globalité, en mobilisant les connaissances sur la biologie des plantes (Lauri *et al.*, 2008).

Le contrôle des pucerons du pêcher

Une enquête réalisée auprès d'une vingtaine d'arboriculteurs en agriculture biologique et en agriculture conventionnelle du Sud-Est de la France (Penvern *et al.*, 2010) a permis de distinguer une première classe de stratégie relevant d'une utilisation intensive de pesticides thérapeutiques et à large spectre assimilable à une première étape « conventionnelle ou C » (Hill *et al.*, 1999), puis une deuxième stratégie (E) visant l'efficience par l'utilisation de traitements de choc curatifs, une troisième (S) caractérisée par une substitution d'intrants qui privilégie l'application préventive de produits peu toxiques et la combinaison de méthodes alternatives et culturales,

enfin une quatrième (R) visant la reconception par une approche globale de l'agro-écosystème, avec des règles de décision gérant les compromis entre le contrôle des populations de pucerons celles d'auxiliaires.

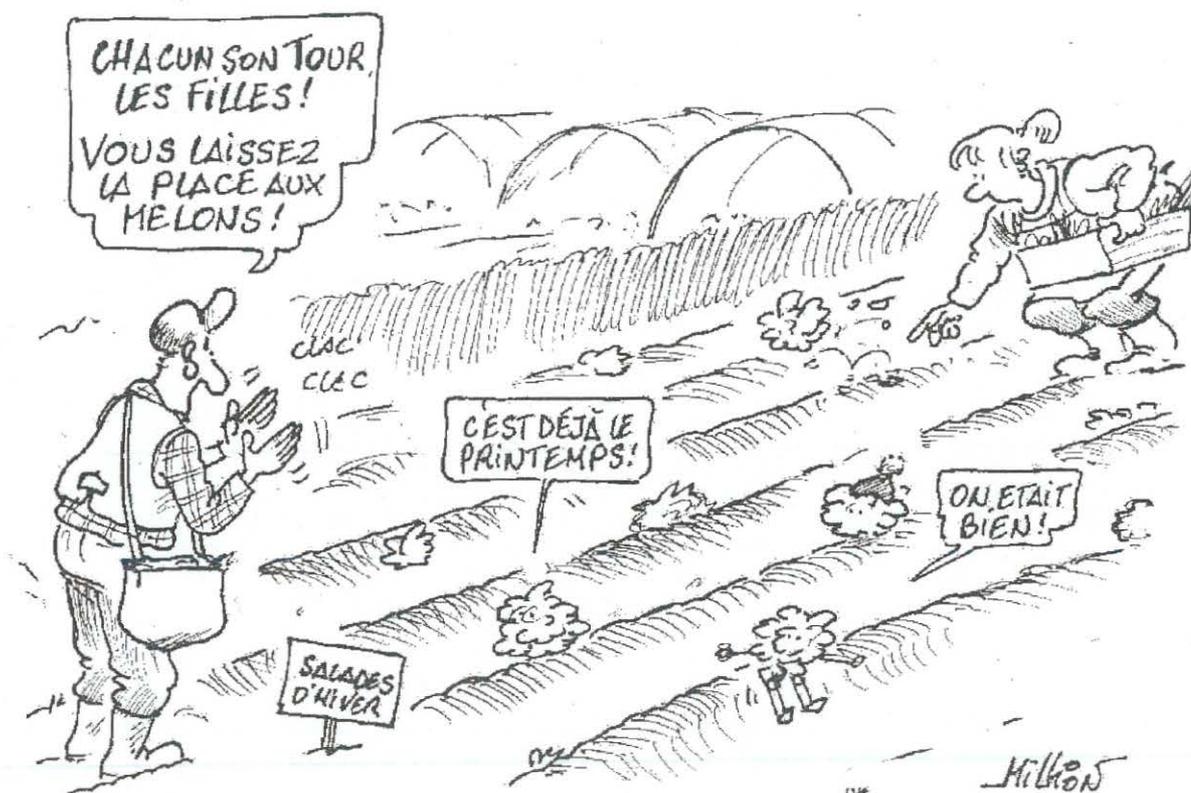
Dans cette étude en outre, 87% des agriculteurs bio relèvent des stratégies S et R. L'agriculture biologique, contrainte par son cahier des charges, oblige à la substitution dès la première année de conversion voire à la reconception face à l'efficacité souvent limitée des méthodes alternatives éligibles. La vision dynamique de Hill *et al.* (1999) peut d'ailleurs être discutée quant à la succession des étapes présentée de manière linéaire E→S→R. Les stratégies S identifiées par ces enquêtes ont révélé des nombres de traitements élevés contradictoires avec une phase E préalable. Nous pouvons donc émettre l'hypothèse qu'une autre succession est possible : S→E→R, comme ce pourrait être le cas après une conversion (Lamine et Bellon, 2009a ; Lamine, 2011). De plus, le passage obligatoire par E ou par S pour prétendre à la reconception peut également être discuté. Les récentes injonctions publiques, la recrudescence des risques d'apparition de résistances et les conséquences avérées sur l'environnement ont toutefois diminué le nombre de pesticides et de fait les marges

de manœuvre relevant du niveau E, et obligent globalement les arboriculteurs à davantage considérer les niveaux S et R.

La maîtrise des bioagresseurs telluriques en maraîchage

L'analyse précédente a été menée en maraîchage, en particulier sur les stratégies de maîtrise des nématodes et de certaines maladies fongiques (Navarrete *et al.*, 2010). Les marges de manœuvre relevant de l'Efficiencia sont déjà largement utilisées par les maraîchers mais ne permettent pas de résoudre de façon durable ces problèmes. Notre objectif est donc de mobiliser des processus biologiques ou écologiques du sol. La solarisation des sols, par exemple, a un rôle désinfectant partiel. Les engrais verts ont une influence sur les compétitions entre micro-organismes du sol, peuvent interrompre le cycle de certains bioagresseurs (s'ils sont biocides) et améliorent sa fertilité agronomique. Parce que les techniques agronomiques mobilisées occupent les parcelles pendant plusieurs mois et entrent en concurrence avec les cultures commerciales (Navarrete *et al.*, 2006), leur mobilisation relève, suivant les cas, de la Substitution ou de la Reconception des systèmes.





Dans les exploitations qui ont adopté des rotations ménageant une période de sol nu durant l'été (salades en hiver, melon au printemps par exemple), l'introduction de ces techniques en substitution de méthodes chimiques est possible sans modifier cette rotation. L'état sanitaire des sols s'améliore, mais aussi l'autonomie des systèmes en termes de fertilité (par la minéralisation de la matière enfouie).

En revanche les systèmes dans lesquels la période estivale est consacrée à une culture commerciale plus longue (tomate ou poivron par exemple) ne se prêtent pas à cette substitution. Les exploitations suffisamment grandes et dont toute la surface n'est pas encore exploitée pourront répartir différemment dans l'espace disponible les cultures d'été. À l'échelle de la parcelle cela se traduit par une modification de la rotation : une culture d'été est remplacée par l'une voire par ces deux techniques (solarisation ou engrais vert) une année de temps en temps.

Enfin, un degré plus avancé de la Reconception repose sur une réflexion plus large des assolements à l'échelle de l'exploitation pour augmenter la diversité des espèces et réduire le risque de développement des pathogènes dans les sols dont le contrôle est toujours difficile.

C'est le choix que font un certain nombre de maraîchers très diversifiés en agriculture biologique.

Favoriser les transitions vers des systèmes alternatifs

L'écologisation des systèmes maraîchers et arboricoles est donc complexe. Ces productions, qui se sont fortement intensifiées au cours des décennies passées, sont aujourd'hui très contraintes, l'extrême spécialisation des exploitations conduisant à une exacerbation des problèmes pathologiques). Les marges de manœuvre techniques pour écologiser les pratiques sont alors limitées, sauf à modifier en profondeur les systèmes socio-techniques. Cela conduit donc à s'interroger sur la dynamique des changements techniques et sur la façon de les favoriser à moyen ou long terme, tant du côté de la recherche que du côté du marché ou de l'intervention publique. Ainsi, nous présentons deux postures de recherche visant à faciliter l'écologisation : la co-conception de nouveaux systèmes techniques en partenariat entre des chercheurs et des acteurs du monde agricole ; l'analyse sociologique des transitions dans le monde agricole.

Concevoir de nouveaux systèmes de culture avec des professionnels agricoles

Différentes démarches de conception de systèmes de culture existent depuis celles uniquement portées par les scientifiques jusqu'à celles relevant de la recherche-action (Douthwaite *et al.*, 2003), avec divers degrés d'implication des partenaires professionnels.

Les démarches conduites à l'unité Éco-développement (Bellon *et al.*, 2009 ; Navarrete *et al.*, 2010 ; Penvern *et al.*, 2012b) consistent à construire en partenariat avec les professionnels agricoles des systèmes alternatifs permettant de contrôler les pathogènes et ravageurs. On peut mobiliser pour cela tous les leviers techniques possibles à la parcelle, mais aussi modifier l'agencement des systèmes sur l'exploitation, voire l'articulation entre production, commercialisation et travail. C'est l'ampleur des changements nécessaires qui justifie la démarche, pour que les nouveaux systèmes soient négociés avec des professionnels agricoles. Un groupe d'experts constitué d'agriculteurs et de conseillers techniques construit progressivement avec les chercheurs de nouvelles combinaisons techniques, mais aussi de nouvelles organisations entre parcelles. Le collectif apporte une expertise sur l'effet de certaines techniques encore mal évaluées par les connaissances scientifiques, sur les leviers mobilisables à des échelles supra-parcelles ou des contraintes incontournables ; il critique et hiérarchise les propositions techniques sur la base des contraintes et opportunités commerciales des agriculteurs. Les marges de manœuvre des agriculteurs pour adopter des innovations techniques varient suivant les types d'exploitations, spécialisées ou diversifiées, combinant ou pas du maraîchage et d'autres cultures, des cultures de

plein champ et des abris (Navarrete *et al.*, 2010). D'où la nécessité de construire des catégories d'innovations techniques par types d'exploitations et de s'appuyer sur les professionnels pour exprimer et intégrer ces contraintes, ou encore pour évaluer les possibilités de les lever.

Dans le cas de la production maraîchère, par exemple, le simulateur Dexi légumes (Tchamitchian *et al.*, 2009) permet d'évaluer la résistance et la résilience des systèmes de culture aux ravageurs et pathogènes à l'échelle de la parcelle ; il sert donc d'interface pour faciliter les échanges (fig.1). Cependant, pour les échelles supra-parcellaires, ou pour les arbitrages entre points de vue techniques, économiques, sociaux, pour lesquels on ne dispose pas d'outil d'évaluation informatisée, c'est la confrontation de points de vue variés au sein du groupe d'experts qui permet l'évaluation. Enfin, les prototypes de systèmes techniques sont testés dans des stations expérimentales et des exploitations.

Transitions et dynamiques territoriales et collectives

Des travaux consacrés aux processus et conditions de transitions des exploitations vers des agricultures écologisées, en s'appuyant sur les cas de la protection intégrée et de l'agriculture biologique (Lamine *et al.*, 2008 ; Lamine, 2011), ont souligné l'importance des dynamiques collectives et le rôle du conseil, le caractère progressif de ces transitions et la manière dont elles n'engagent pas que les seules pratiques techniques, l'existence de verrous tenant aux différents maillons du système socio-technique, et, enfin, l'intérêt de l'échelle territoriale pour aborder ces transitions et pour les soutenir.

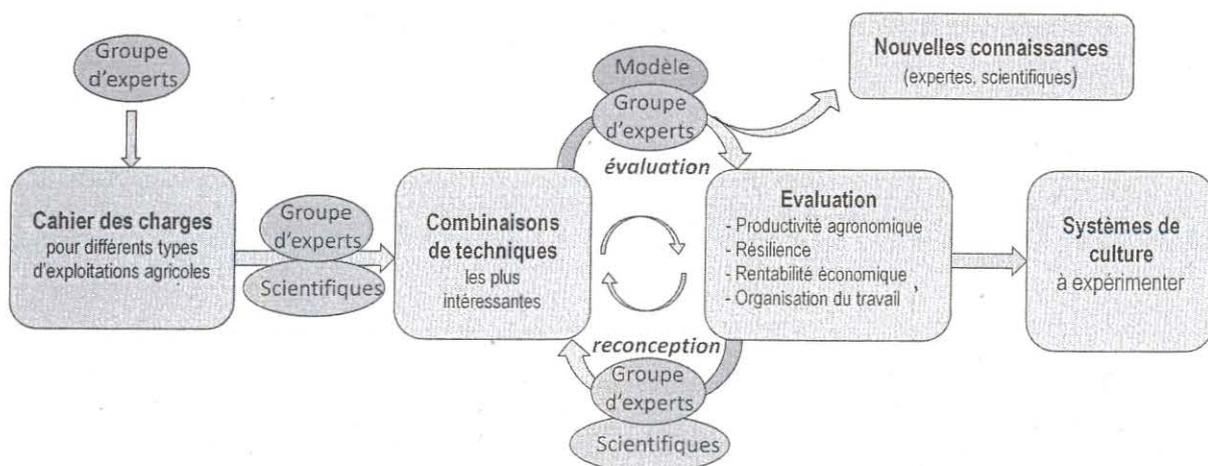


Figure 1. Conception de systèmes de culture en partenariat.

Les dynamiques collectives et le rôle du conseil

Les formes d'ancrage des agriculteurs dans des dynamiques collectives sont diverses. Il peut s'agir de collectifs d'agriculteurs accompagnés par un technicien. L'appartenance au groupe permet alors aux producteurs de définir clairement les pratiques qu'ils avaient déjà, parfois de manière isolée, mises en place au sein de leurs exploitations, de se situer les uns par rapport aux autres, de parler de leurs impasses techniques et de rechercher des solutions, en s'appuyant sur l'expérience de tous. Elle leur permet aussi de se construire une reconnaissance professionnelle collective dans un contexte où l'entourage professionnel, tant dans le voisinage que dans les réseaux syndicaux et professionnels, reste majoritairement sceptique.

Les dynamiques collectives peuvent aussi relever de formes moins explicitement dédiées au suivi des pratiques et de leurs évolutions, à savoir de structures collectives propres à l'agriculture biologique, ou encore de systèmes de commercialisation plutôt conventionnels (organisations de producteurs) ou plutôt alternatifs (AMAP par exemple), ou enfin de groupes souvent informels d'agriculteurs d'un même secteur qui s'organisent ensemble à différentes fins (achats d'intrants, expéditions de produits, partage de matériel ou organisation de chantiers, etc.). Dans tous les cas, elles apparaissent comme des éléments clés des processus d'apprentissage (Compagnone, 2004) et de la robustesse des changements de pratiques. Cela est probablement plus décisif encore dans le cas de la protection intégrée où les transitions sont plus réversibles que dans le cas de la conversion à l'agriculture biologique car non stabilisées par la certification et par le marché (Lamine *et al.*, 2008 ; Lamine, 2011). En grandes cultures, par exemple, on a observé des retours en arrière en fonction des conditions climatiques et surtout des prix relatifs des intrants et des produits.

Des transitions progressives

Les transitions vers ces pratiques plus écologisées n'engagent pas que les seules pratiques techniques. Bien souvent, en particulier dans le cas de l'agriculture biologique, les producteurs doivent recomposer leurs modes de commercialisation en même temps que leurs pratiques de production (Navarrete, 2009). Le cadre ESR peut alors être mobilisé aussi sur les pratiques de commercialisation. Ainsi, certains agriculteurs biologiques vont rester dans le même type de circuits et substituer par exemple un organisme collecteur ou des grossistes conventionnels par leurs équivalents biologiques, sans changement

radical des critères de qualité recherchés, tandis que d'autres vont reconcevoir plus profondément leurs débouchés et se tourner par exemple vers les circuits courts, qui nécessitent une reconception des systèmes techniques.

Toutefois, il serait faux de retenir que le passage à l'agriculture biologique, en maraîchage et en arboriculture, entraîne une nécessaire dynamique de diversification des productions qui, elle-même, entraînerait un passage aux circuits courts. Les situations sont bien plus diverses. D'une part, la conversion concerne aussi des exploitations dont les surfaces, les outils de production et les productions elles-mêmes ne se prêtent pas à une telle évolution. D'autre part, on observe dans le secteur du maraîchage même, à partir de systèmes d'exploitation très diversifiés et très tournés vers les circuits courts, des trajectoires de rationalisation et de re-spécialisation partielle visant à améliorer la viabilité économique et sociale de l'exploitation (Lamine et Cambien, 2011). Il serait utile d'interroger les diverses performances et propriétés de ces systèmes pour évaluer leur degré d'écologisation au regard des systèmes antérieurs ou différents.

Les verrous du système

L'écologisation des pratiques des agriculteurs est rendue difficile par divers types de verrous tenant aux différents maillons du système socio-technique, défini comme englobant les exploitations et leurs stratégies, mais aussi le conseil, la sélection variétale, la recherche, les filières aval et les politiques publiques.

À partir des théories des transitions (Dosi, 1982 ; Geels et Schot, 2007)⁴, nous avons montré, dans le cas des cultures du blé et de la pomme, comment s'est façonné au fil des décennies le modèle dominant de protection des cultures que nous connaissons aujourd'hui, modèle fondé sur la protection chimique, et comment les alternatives à ce modèle sont progressivement marginalisées par la force des stratégies dominantes et par l'inertie liée aux inter-dépendances dans le système. De ce fait, les alternatives ou « innovations de niche » n'ont pas réussi à percoler dans le système socio-technique dominant et à infléchir son cours de manière significative, malgré des pressions externes et son manque intrinsèque de durabilité (Lamine *et al.*, 2010 ; Sautereau *et al.*, 2010b).

4. Ces théories, contrairement aux théories classiques postulant un déterminisme unidimensionnel lié soit au marché soit à l'innovation, partent de l'idée que les trajectoires technologiques se caractérisent par une causalité multi-dimensionnelle : les interactions entre innovations scientifiques, facteurs économiques, variables institutionnelles génèrent de nuisants effets d'exclusion des voies alternatives.

En combinant ces deux grilles de lecture des transitions (ESR et théories des transitions), on peut d'ailleurs lire certaines formes de circuits courts dont les AMAP comme non seulement une re-conception radicale du système d'exploitation au sens large (espèces, mode de production, commercialisation) mais aussi comme une reconception (ou une extrême simplification) du système socio-technique consistant à la fois à supprimer les maillons intermédiaires liés aux filières aval et à reconcevoir les liens aux autres maillons du système, semences et sélection, conseil, et même appui par la collectivité, avec un appui sur la communauté ou société civile locale plutôt que sur la collectivité publique nationale ou européenne.

La pertinence des échelles territoriales

Sous l'angle sociologique, l'échelle territoriale semble pertinente pour analyser et pour impulser ou faciliter une transition du système socio-technique (Cardona et Lamine, 2011). C'est à cette échelle par exemple que peut être redéfini, pour des maraîchers voire pour des arboriculteurs, l'équilibre entre diversification et spécialisation avec pour objectif, comme on l'a dit plus haut, d'améliorer les situations en termes d'organisation du travail et de viabilité des systèmes. Au sein de réseaux informels et localisés de producteurs, certains vont se spécialiser sur un nombre limité d'espèces et les différents producteurs se coordonner pour mettre en marché des volumes plus conséquents en jouant de la complémentarité entre différents types de circuits, paniers, restauration collective, grossistes *etc.* (Lamine et Bellon, 2009b ; Lamine et Cambien, 2011). De manière plus globale, nous explorons à partir d'études de cas localisées dans quelle mesure l'échelle territoriale, échelle de gouvernance à laquelle s'articulent les dimensions productives, économiques, écologiques et sociales du développement rural, peut permettre de faire évoluer conjointement les différentes composantes du système socio-technique en prenant en compte leurs inter-dépendances.

Conclusion

Dans cet aperçu des divers travaux de l'unité Ecodéveloppement sur les dynamiques d'écologisation des systèmes horticoles, nous avons mis en perspective les différentes approches que nous adoptons dans nos disciplines respectives (agronomie, économie, sociologie) et leurs articulations.

Nous souhaitons insister en conclusion sur la nécessité de reconnaître la diversité des systèmes en agriculture biologique et de leurs performances respectives.

En effet, les systèmes en agriculture biologique présentent de multiples combinaisons de critères de performances, et certaines exploitations non biologiques peuvent avoir des impacts environnementaux plus bénéfiques que certaines exploitations agriculture biologique intensives (Sautereau *et al.*, 2011). Dès lors, il est nécessaire de se donner les moyens de caractériser cette diversité, et d'adapter les modes de conception et d'évaluation des systèmes techniques à cette diversité (Sylvander *et al.*, 2006 ; Desclaux *et al.*, 2009).

Nos travaux conduisent aussi à reconsidérer les échelles spatio-temporelles pertinentes, tant dans l'évaluation des performances que dans la conception de systèmes alternatifs. Ils questionnent l'approche parcellaire classique utilisée par les agronomes (Bellon *et al.*, 2006). Par exemple il convient de diversifier les échelles selon l'« envergure » trophique et spatiale des processus sous-jacents, diverses échelles sont en effet pertinentes pour proposer des « solutions techniques » dans une perspective d'écologisation de la production (Nesme *et al.*, 2010). Au-delà, l'analyse sociologique des transitions a montré que c'est à l'échelle du système socio-technique dans son ensemble que se jouent les effets de verrouillage et que doivent donc être conçus les leviers de déverrouillage.

Enfin, notre analyse conduit à remettre en question les principes mêmes de l'évaluation de la durabilité telle qu'elle est en général pratiquée. Nous insistons sur le besoin de changer de critères et de référentiel afin de passer d'une approche compartimentée à une approche fonctionnelle (Francis, 2009). En effet, si l'approche « classique » de la durabilité reposant sur la conciliation des performances économique, environnementale et sociale est un premier niveau, il nous paraît important de passer à une approche systémique qui fonde la durabilité sur le maintien d'un ensemble de propriétés assurant le fonctionnement d'un système de production : existence, co-existence avec les autres systèmes, efficacité dans l'utilisation des ressources, autonomie, sécurité face aux aléas, adaptabilité, et responsabilité (Bossel, 1999 ; Geniaux *et al.*, 2009).

Ces enjeux variés sont étudiés dans le projet ANR DynRurABio⁵ en s'attachant aux conséquences de dynamiques en cours en agriculture biologique (extension géographique, intensification de la production) sur les performances des systèmes biotechniques et aux moyens pour faciliter les transitions vers des systèmes agricoles plus écologisés ■

5. http://www.inra.fr/comite_agriculture_biologique/accueil/actualites/dynrurabio

Références bibliographiques

- Altieri M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 19-31.
- Altieri M.A., Nicholls C.I., 2000. *Applying agro-ecological concepts to development of ecologically based pest management strategies*. National Academies Press, Washington.
- Bellon S., De Sainte Marie C., Lauri P.E., Navarrete M., Nesme T., Plénet D., Pluvinage J., Habib R., 2006. La production fruitière intégrée en France : le vert est-il dans le fruit ? *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 53, 5-18.
- Bellon S., Fauriel J., Hemptine J.L., Jamar L., Lauri P.E., Lateur M., Libourel G., Simon S., 2009. Eco-design and co-design : application to fruit production in Europe. In : *Farming Systems Design 2009, International Environmental Modelling and Software (IEMSS) Symposium*, 23-26 aug. 2008, Monterey CA (USA), http://www.iemss.org/farmsys09/uploads/2009_FSD_Proceedings.pdf
- Boivin T., Sauphanor B., 2005. Modélisation de la phénologie du carpocapse des pommes. Intégrer la résistance aux insecticides. *Phytoma-Défense des végétaux*, 581, 25-27.
- Bossel H., 1999. *Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications*. IISD Publications, 124 p.
- Brown M.W., 1999. Applying principles of community ecology to pest management in orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 73, 103-106.
- Capitaine M., David C., Freycenon R., 2009. Évaluation et amélioration de la durabilité de l'agriculture biologique : éléments de débats. *Innovations agronomiques*, 4, 209-215.
- Cardona A., Lamine C., 2011. La mobilisation de la société civile pour le développement d'une agriculture plus durable : moteur et instrument d'un processus d'écologisation? Colloque Écologisation des politiques publiques, Avignon, mars 2011, <http://www4.paca.inra.fr/ecodeveloppement/Colloque-2011>.
- Compagnone C., 2004. Agriculture raisonnée et dynamique de changement en viticulture bourguignonne. *Recherches sociologiques*, 3, 103-121.
- Debras J.F., Senoussi R., Rieux R., Buisson E., Dutoit T., 2008. Spatial distribution of an arthropod community in a pear orchard (Southern France): Identification of a hedge effect. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127, 166-176.
- Desclaux D., Chiffolleau Y., Nolot J.M., 2009. Pluralité des Agricultures Biologiques : Enjeux pour la construction des marchés, le choix des variétés et les schémas d'amélioration des plantes. *Innovations agronomiques*, 4, 297-306.
- Dosi G., 1982. Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy*, 11, 147-162.
- Douthwaite B., Kuby T., van de Fliert E., Schulz S., 2003. Impact pathway evaluation: an approach for achieving and attributing impact in complex systems. *Agricultural Systems*, 78, 243-265
- Fauriel J., 2009. La conversion du verger : vers une reconception du système. In : *Transitions vers l'agriculture biologique. Pratiques et accompagnements pour des systèmes innovants*. Éditions Quae, Educagri, 51-74.
- Fauriel J., Bellon S., Gallia V., Ruesch J., 2009. Total polyphenol content of peaches is influenced by crop management regime and nitrogen fertilization. International Symposium on human health effects of fruits and vegetables, 18-21 oct. 2010, Avignon (FRA), <http://www.ishs.org/news/?p=585>
- Fleury P., Bellon S., Penvern S., 2010. The double-bind relationship between environment and organic agriculture. Organic farming as a solution for environmental problems and environment as an asset for the development of organic farming? *Proceedings of International Conference on Organic Agriculture in Scope of Environmental Problems*, European Mediterranean Conferences and Conventions (EMCC), Istanbul, 196-204.
- Francis C., 2009. Education in Organic Farming and Food Systems, in: C. Francis (Ed.), *Organic Farming: The Ecological System*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 283-299.
- Geels F.W., Schot J., 2007. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36(3), 399-417.
- Geniaux G., Bellon S., Deverre C., Powell B., 2009. Sustainable Development Indicator Frameworks and Initiatives. Technical report n°49, SEAMLESS-IP, http://www.seamless-ip.org/Reports/Report_49_PD2.2.1.pdf
- Gliessman S.R., 2007. *Agroecology, ecological processes in sustainable agriculture*. CRC Press, Boca-Raton, FL, USA.
- Hill S.B., MacRae R.J., 1996. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 7, 81-87.
- Hill S.B., Vincent C., Chouinard G., 1999. Evolving ecosystems approaches to fruit insect pest management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 73, 107-110.
- Imbens G., Wooldridge J., 2009. Recent developments in the econometrics of program evaluation. *Journal of Economic Literature*, 47, 5-86.
- Jeannequin B., Dosba F., Plénet D., Pitrat M., Chauvin J.E., 2011. Vers des cultures fruitières et légumières à hautes performances environnementales. *Innovations agronomiques*, 12, 73-85.

- Lamine C., Meynard J.M., Perrot N., Bellon S., 2008. Analyse des formes de transition vers des agricultures plus écologiques : les cas de l'agriculture biologique et de la protection intégrée. *Innovations agronomiques*, 4, 499-511.
- Lamine C., Bellon S., 2009a. Conversion to organic farming: a multidimensional research object at the crossroads of agricultural and social sciences. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 97-112.
- Lamine C., Bellon S. (Eds.), 2009b. *Transitions vers l'agriculture biologique. Pratiques et accompagnements pour des systèmes innovants*. Dijon-Paris, Educagri-Quae.
- Lamine C., Meynard J.M., Bui S., Messéan A., 2010. Réductions d'intrants : des changements techniques, et après ? Effets de verrouillage et voies d'évolution à l'échelle du système agri-alimentaire, *Innovations agronomiques*, 8, 121-134.
- Lamine C., 2011. Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM, *Journal of Rural Studies*, 27, 209-219.
- Lamine C., Cambien L., 2011. Les transitions vers l'agriculture biologique : une approche à l'échelle d'un système agri-alimentaire territorial. Colloque Écologisation, Avignon, mars 2011, <http://www4.paca.inra.fr/ecodeveloppement/Colloque-2011>.
- Lauri P.E., Costes E., Regnard J.L., Brun L., Simon S., Monney P., Sinoquet H., 2008. Does knowledge on fruit tree architecture and its implications for orchard management improve horticultural sustainability? An overview of recent advances in the apple. *Proc. 1st International Symposium on Horticulture in Europe*, ISHS, Vienna, Austria, 243-249.
- Lepoutre J., 2010. Phénomène de conversion à l'agriculture biologique en région PACA et étude comparative. Mémoire Master II, GREQAM, INRA, 51 p.
- Lewis W.J., vanLenteren J.C., Phatak S.C., Tumlinson J.H., 1997. A total system approach to sustainable pest management. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94, 12243-12248.
- Loreau M., Naeem S., Inchausti P., Bengtsson J., Grime J.P., Hector A., Hooper D.U., Huston M.A., Raffaelli D., Schmid B., Tilman D., Wardle D.A., 2001. Ecology - Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science*, 294, 804-808.
- Lucas P., 2007. Le concept de la protection intégrée des cultures. *Innovations agronomiques*, 1, 15-21.
- Mzoughi N., 2009. Farmers' adoption of integrated protection and organic farming: do moral and social concerns matter? III^{es} Journées de recherche en sciences sociales, Montpellier, 9-11 décembre 2009. CD-Rom INRA-SFER-CIRAD, Paris.
- Navarrete M., le Bail M., Papy F., Bressoud F., Tor-djman S., 2006. Combining leeway on farm and supply basin scales to promote technical innovations in lettuce production. *Agronomy for sustainable development*, 26(1), 77-87.
- Navarrete M., 2009. How do farming systems cope with marketing channel requirements in organic horticulture? The case of market-gardening in south-eastern France. *Journal of Sustainable Agriculture*, 33 (5), 552-565.
- Navarrete M., Tchamitchian M., Aissa Madani C., Collange C., Taussig C., 2010. Elaborating innovative solutions with experts using a multicriteria evaluation tool. The case of soil borne disease control in market-gardening cropping systems. In: Coudel É., Devautour, H., Soulard C. (Eds.), *Innovation and Sustainable Development in Agriculture*, ISDA, Montpellier, 10 p.
- Navarrete M., Dupré L., Lamine C., Marguerie M., 2012. Species diversification in market-garden farms and consequences on crop management, labour organisation and marketing at farm and territorial scales, Xth European IFSA Symposium, July 1-4, 2012, Aarhus, Denmark, <http://ifsa2012.dk/>
- Nemes N., 2009. *Comparative analysis of organic and non-organic farming systems: A critical assessment of farm profitability*. Technical report, FAO, Rome, 39 p.
- Nesme T., Lescourret F., Bellon S., Habib R., 2010. Is the plot concept an obstacle in agricultural sciences? A review focussing on fruit production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 138, 133-138.
- Niggli U., Slabe A., Schmid O., Halberg N., Schlüter M., 2009. *Vision d'avenir pour la recherche en agriculture biologique à l'horizon 2025. Un savoir bio pour l'avenir*. Technology Platform Organics. IFOAM EU group, Bonn, Germany, 60 p.
- Penvern S., Bellon S., Fauriel J., Sauphanor B., 2010. Peach orchard protection strategies and aphid communities: Towards an integrated agroecosystem approach. *Crop Protection*, 29, 1148-1156, DOI: 10.1016/j.cropro.2010.06.010
- Penvern S., Jamar L., Dapena E., Lateur M., Simon S., Bellon S., 2012a. Sustainable orcharding through eco-design and co-design. IInd Symposium on Horticulture in Europe, July 1-5, 2012, Angers, France, <https://colloque4.inra.fr/she2012>
- Penvern S., Simon S., Bellon S., Alaphilippe A., Lateur M., Lauri P.E., Dapena E., Jamar L., Warlop F., 2012b. Sustainable orchards' redesign: at the crossroads of multiple approaches. Xth European IFSA Symposium, 1-4 July 2012, Aarhus, Denmark, http://ifsa2012.dk/wp-content/uploads/Final_BookOfAbstractUpdatedPlan.pdf
- Petitgenet M., 2010. *Étude des performances lors des transitions vers l'agriculture biologique dans des systèmes arboricoles en région PACA*. Mémoire de fin d'études, ENITA, Bordeaux.
- Reau R., Doré T., 2008. *Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Dijon, Éditions Educagri. 176 p.

- Reganold J.P., Glover J.D., Andrews P.K., Hinman H.R., 2001. Sustainability of three apple production systems. *Nature*, 410, 926-930.
- Ricci P., Bui S., Lamine C., 2011. *Repenser la protection des cultures. Innovations et transitions*. Educagri, Quae Éditions, 250p.
- Sauphanor B., Simon S., Boisneau C., Capowiez Y., Rieux R., Bouvier J.C., Defrance H., Picard C., Toubon J.F., 2009. Protection phytosanitaire et biodiversité en agriculture biologique. Le cas des vergers de pommiers. *Innovations agronomiques*, 4, 217-228.
- Sautereau N., Geniaux G., Bellon S., Petitgenet M., Lepoutre J., 2010a. Quantity versus quality, and profit versus values? Do these inherent tensions inevitably play in organic farming? « Innovation et développement durable dans l'agriculture et l'agroalimentaire », 28 juin-1^{er} juillet 2010, Montpellier. In: Coudel É. et al. (Eds.), *Innovation and Sustainable Development in Agriculture*, ISDA, Montpellier, 2010, 15 p.
- Sautereau N., Bellon S., 2010b. Stimulate transitions towards sustainable agri-food systems: the contribution of conversion to organic food and farming to analyze dynamics and governance. International Workshop on System Innovations, Knowledge Regimes, and Design Practices towards Sustainable Agriculture, June 16-18th, Lelystad, NLD.
- Sautereau N., Penvern S., Petitgenet M., Fauriel J., Bellon S., 2011. Concilier des performances pour une agriculture durable, l'agriculture biologique comme prototype. *FaçSADE*, 33.
- Simon S., Sauphanor B., Defrance H., Lauri P.E., 2009. 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.
- Simon S., Bouvier J.C., Debras J.F., Sauphanor B., 2010. Biodiversity and pest management in orchard systems. A review. *Agronomy for sustainable development*, 30, 139-152.
- Sylvander B., Bellon S., Benoît M., 2006. Facing the organic reality: the diversity of development models and their consequences on research policies. *Proceedings Joint Organic Congress*, Odense, Denmark, May 30-31, 58-61.
- Tchamitchian M., Collange B., Navarrete M., Peyre G., 2009. Multicriteria evaluation of the pathological resilience of in-soil vegetable protected cropping systems. In: Gosselin A., Dorais M. (Eds.), *GreenSys 2009*, Québec, 14-19 juin 2009. ISFAE, Helsinki.
- Wezel A., Bellon S., Dore T., Francis C., Vallod D., David C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 503-515.
- Wyss E., Luka H., Pfiffner L., Schlatter C., Gabriela U., Daniel C., 2005. Approaches to pest management in organic agriculture: a case study in European apple orchards. *IPM in Organic Systems*, XXIIth International Congress of Entomology, Brisbane, Australia, August 2004.