



HAL
open science

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

Mireille Navarrete, Stephane Bellon, Ghislain Geniaux, Claire Lamine,
Servane Penvern, Natacha Sauterau, Marc Tchamitchian

► To cite this version:

Mireille Navarrete, Stephane Bellon, Ghislain Geniaux, Claire Lamine, Servane Penvern, et al..
L'écologisation des pratiques en arboriculture et maraîchage. Enjeux et perspectives de recherches.
Ecologisation des politiques et des pratiques agricoles, Mar 2011, Isle sur la Sorgue, France. 20 p.
hal-02808406

HAL Id: hal-02808406

<https://hal.inrae.fr/hal-02808406>

Submitted on 6 Jun 2020

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.

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

Unité INRA Ecodéveloppement, Site AgroParc, 84914 Avignon cedex 09

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

Mots clefs : arboriculture, maraîchage, pratiques, performances, transitions

Résumé :

L'écologisation des systèmes arboricoles et maraîchers est une nécessité en termes de préservation de l'environnement mais elle est particulièrement contrainte sur un plan technique et économique. Sur la base d'un ensemble de travaux de recherche réalisés à l'Unité Ecodéveloppement depuis une dizaine d'années, nous proposons une analyse des enjeux et des perspectives d'écologisation des pratiques afin d'identifier des voies de transition vers des systèmes horticoles écologisés. Cette analyse s'articule autour de trois questions : (1) l'analyse multidimensionnelle des performances (agronomiques, écologiques, économiques, sociales) que doivent atteindre les systèmes écologisés ; (2) les leviers techniques qu'il est possible de mobiliser pour concevoir ces systèmes ; (3) les types de transitions et les dispositifs d'acteurs à l'œuvre. L'article s'appuie notamment sur le cadre conceptuel Efficience – Substitution- Reconception et vise une montée en généralité par la comparaison de différents terrains en arboriculture et maraîchage, et de différents points de vue d'agronomes, d'économistes et de sociologues.

Introduction

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 GMS : volume, calibre, « zéro défaut visuel », conservation. Le secteur des fruits et légumes est aussi extrêmement concurrentiel du fait de la faible part des aides (européennes, nationales) au regard des enjeux de marché, avec une forte distorsion des coûts de production entre états membres. Ces dernières années, la problématique de l'écologisation de l'agriculture, visant à 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 Ecophyto 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 cette écologisation des systèmes horticoles est particulièrement contrainte sur un plan technique et économique. Il s'agit en effet d'identifier des systèmes techniques 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 recherches en sciences techniques et sciences sociales réalisés à l'Unité INRA Ecodéveloppement depuis une dizaine d'années, nous proposons une analyse des enjeux et des perspectives d'écologisation des pratiques dans ces systèmes. L'analyse transversale au maraîchage et à l'arboriculture vise à une montée en généralité, par la comparaison de cultures à durées de cycles variables (infra et pluriannuels), de leviers techniques et d'échelles spatiales d'actions diverses, mais au sein de réseaux sociotechniques relativement proches. Plusieurs questions se posent pour favoriser cette délicate écologisation de l'horticulture. Nous développerons dans cet article trois thèmes principaux : 1) les performances que doivent viser les nouveaux systèmes écologisés, 2) les moyens d'action et les leviers à mobiliser pour les concevoir, et 3) les dispositifs d'acteurs dans lesquels s'insère la recherche de nouveaux systèmes.

Pour ce qui concerne les performances des nouveaux systèmes écologisés, l'enjeu est de concilier de multiples performances agronomiques, environnementales, économiques, sociales, et en corollaire de proposer une nouvelle approche des propriétés des systèmes écologisés. Au-delà des critères classiques de qualité des produits, l'enjeu d'un moindre impact environnemental devient d'autant plus fort que les productions horticoles sont souvent situées sur des zones « sensibles » (sols filtrants ou hydromorphes, réserves d'eaux souterraines, zones péri-urbaines,...). Cependant, les modalités de reconnaissance et de

qualification d'une horticulture écologisée restent à définir (Bellon *et al.*, 2006). Il en est de même pour ce qui est de la caractérisation des critères de performance de systèmes écologisés, à l'heure où les modèles d'agriculture écologisée se diversifient, y compris en agriculture biologique (Lamine et Bellon, 2009a). Nous montrerons que la notion de propriété semble à même d'orienter la construction de systèmes écologisés. Au-delà des propriétés classiques comme la productivité ou l'entretien de la fertilité du milieu, d'autres comme la robustesse, l'autonomie, la diversité, la réversibilité ou l'adaptabilité (Darnhofer *et al.*, 2010), sont également en jeu (Lopez-Ridaura *et al.*, 2005).

Sur quelles bases (re)concevoir des systèmes horticoles écologisés ? Des alternatives agricoles à l'agriculture conventionnelle (AC) sont déjà identifiées, comme la production intégrée (PI) ou l'agriculture biologique (AB), et différentes formes de mixité des systèmes (AC/AB ou AC/PI). Plusieurs stratégies peuvent être mises en œuvre et schématisées dans le cadre conceptuel **Eff**icience-**S**ubstitution-**R**econception (ESR) proposé par Hill (1985, 2005). Ce cadre a été mobilisé dès 2005 par des chercheurs de l'Unité puis adopté dans divers projets ou expertises scientifiques, pour sa pertinence dans l'analyse a posteriori des changements possibles des systèmes techniques. Nous montrerons que l'enjeu dans l'avenir est de *reconcevoir* des agroécosystèmes horticoles (pôle **R** de ce cadre) fonctionnant sur la base d'un nouvel ensemble de processus écologiques, afin de traiter la cause des problèmes se manifestant dans les deux premiers pôles de l'efficacité et de la substitution. Toutefois, nous montrerons aussi à partir de différentes études conduites récemment, que ce schéma ESR ne se résume ni à des étapes linéaires ni à une progressivité ; des combinaisons entre pôles sont envisageables chez un même producteur, dans une même organisation économique ou à l'échelle territoriale.

Une troisième série de questions porte sur les dispositifs susceptibles de favoriser les transitions vers des systèmes alternatifs, et en particulier sur le rôle de la recherche dans ces dispositifs. En effet, l'ampleur des changements nécessaires pour atteindre une écologisation des systèmes horticoles, surtout dans une logique de reconception, conduit à s'interroger sur la dynamique des changements et sur les moyens pour favoriser les transitions à moyen ou long-terme. A l'heure actuelle, le marché seul ne permet pas de rémunérer les démarches de re-conception. Ce sont surtout les politiques publiques mises en œuvre à différents niveaux qui contribuent à réorienter les systèmes de production, l'horticulture ayant longtemps fait figure d'exception du fait de la faible attractivité des soutiens agri-environnementaux rapportés à des unités de surface. Nous illustrerons en quoi les démarches territoriales ou collectives y jouent également un rôle moteur. Nos travaux contribuent à éclairer ces transitions, sur la base d'analyses des changements en cours ou de notre implication dans des démarches de co-conception associant partenaires techniques et chercheurs.

A ces trois questions abordées successivement dans le texte, nous apportons des éléments de réponse appuyés par des exemples concrets issus de nos travaux en arboriculture et en maraîchage.

1. Quelles sont les performances que doivent atteindre les systèmes écologisés ?

Pour les agriculteurs visant la mise en œuvre de systèmes de production écologisés, le défi est d'assumer une diversité d'enjeux, dont celui d'une meilleure prise en compte de leurs impacts environnementaux, et au-delà d'un recours plus important aux fonctionnements écosystémiques. A l'échelle de l'exploitation comme à l'échelle territoriale, il s'agit pour cela d'enclencher une dynamique d'amélioration conjointe de l'ensemble des performances écologiques, agronomiques, économiques et sociales. En première approche, on peut distinguer :

1) des **performances technico-socio-économiques** directement liées au revenu et au bien-être des acteurs qui pilotent les systèmes de production : rendements, qualité des produits, coûts de production, marges, temps, conditions de travail, ...

2a) des **performances agroécosystémiques** 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 stock de graines d'adventices ou inoculum de maladies

inféodées à la parcelle, etc. Ces performances s'inscrivent dans un cadre où l'environnement est un facteur de production qu'il s'agit de mieux gérer à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation, voire au-delà.

2b) 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...), effets sur les êtres vivants et les écosystèmes, accroissement ou réduction de la biodiversité. Ces performances s'inscrivent dans un cadre d'externalités environnementales qu'il convient de mieux réguler à une échelle territoriale pertinente.

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 ex. être en cohérence avec ses convictions), ou encore sociales (par ex. 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, elles doivent donc être également considérées dans l'appréciation des performances globales des systèmes écologisés et dans les exercices comparatifs.

1.1. Concilier des performances technico-socio-économiques

Afin de mieux évaluer les diverses composantes de la durabilité des agro-écosystèmes, une multitude de méthodes évaluatives à base d'indicateurs (IDEA, Diagnostic RAD, Marguerite, Arbre de la Durabilité, MASC,...) a été développée depuis les années 90. 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. Que ce soit dans le choix des indicateurs, dans leur organisation, dans les modes d'agrégation et de pondération, dans l'articulation des échelles, il n'y a pas encore eu de convergence de ces systèmes d'indicateurs dans la recherche ou dans les institutions qui conduise à privilégier un choix plutôt qu'un autre (Geniaux *et al.*, 2006). Ainsi, on observe par exemple aujourd'hui une grande variabilité entre opérateurs calculant des bilans carbone ou évaluant des impacts d'application de pesticides. Et des indicateurs différents pour un même impact environnemental peuvent amener à des recommandations d'action opposées, ce qui traduit bien la nécessité de stabiliser et expliciter les indicateurs les plus pertinents pour la recherche de systèmes de production écologisés. 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'accordent aux différentes catégories de performances, et sur les valeurs de référence utilisées pour interpréter les indicateurs.

Si l'on s'intéresse plus particulièrement aux systèmes en AB, prototype d'agriculture écologique, les évaluations liant les performances productives, environnementales, sociales et économiques restent rares. Nous avons mené des évaluations tenant compte conjointement de ces différentes performances et de leurs dimensions quantitatives et qualitatives, et mettant en évidence les liens entre ces performances, dans le secteur de l'arboriculture (Sautereau *et al.*, 2011).

Performances agronomiques

Nos analyses des performances agronomiques en vergers de pêcher ont montré des rendements et des calibres plus faibles en AB qu'en agriculture conventionnelle (AC). Ces réductions peuvent aller jusqu'à 20% en vergers expérimentaux et jusqu'à 50 % en vergers de producteurs (Sautereau *et al.*, 2011). Ces résultats sont en accord avec ceux du dispositif expérimental BioReco de l'INRA Gotheron comparant arboriculture PFI, Bas intrants et Bio (Simon *et al.*, 2009). Cette baisse est progressive durant la conversion ; elle s'échelonne sur plusieurs années avant que la situation ne 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 au mode de production biologique. Ainsi, les écarts de rendement peuvent être beaucoup plus faibles si l'on compare certaines variétés résistantes, comme l'ont montré des suivis pour des variétés résistantes à la tavelure. En outre, cette diminution des rendements de l'AB s'accompagne d'une augmentation de la qualité estimée sur plusieurs critères: jutosité, teneurs en sucre et polyphénols, intéressants pour leurs propriétés antioxydantes (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 AB et AC avec des caractéristiques similaires (données MSA sur l'ensemble de la région PACA), on a observé une profitabilité accrue de l'AB tout secteur de production confondu 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'AB entre 2000 et 2010. A l'instar de Reganold (2001), on constate également, sur un échantillon d'arboriculteurs enquêtés, des résultats économiques plus stables en AB qu'en arboriculture conventionnelle, ces résultats étant associés à de meilleurs prix de vente au kg et à une moindre variabilité des prix. Par conséquent, les moindres rendements en AB sont compensés par les prix plus stables et supérieurs. On peut avancer l'hypothèse d'un arbitrage entre risque agronomique et risque économique au cours du processus de conversion à l'AB. La stabilité des résultats économiques est aussi à relier à une autre propriété que nous avons pu mettre en évidence en AB : 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, les pas de temps ne sont pas les mêmes en AB par rapport à l'AC : ainsi, s'agissant de cultures pérennes, le seuil de rentabilité est atteint plus rapidement et la durée de vie des plantations peut être supérieure en AB.

Enfin, les comparaisons de profitabilité ne rendent souvent pas bien compte de certaines étapes de trajectoires où la conversion constitue une stratégie de « survie ». Ces étapes ne devraient pas être évaluées en considérant uniquement les différences de profitabilité entre groupes d'exploitants en activité, mais plutôt en considérant la capacité de chaque système de production à pérenniser l'activité ou à éviter l'abandon agricole.

Performances sociales

La prise en compte du travail est ambiguë : en effet, 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 estimations des différences nettes d'emploi entre AB et AC, pour lesquels il existe peu de références, sont encore en cours d'estimation pour la région PACA dans le cadre de d'un projet coordonné par l'Unité (Epab). Pour l'arboriculture, nous avons chiffré que le passage à l'AB générerait du travail supplémentaire pour l'exploitant (35 UTH/10 000 tonnes produites en AB contre 25 en AC), qui était créateur d'emploi dans la moitié des cas (Petitgenet, 2010). Les arboriculteurs biologiques ont aussi souligné que le besoin en main d'œuvre se fait ressentir progressivement, jusqu'à plusieurs années après la conversion administrative. Mais la charge de travail supplémentaire ne semble pas affecter la perception positive qu'ils ont de leur métier. Interrogés sur leur qualité de vie, ils donnent une note moyenne de 8/10 contre 6,4/10 pour ceux en AC. Ils invoquent en premier la satisfaction personnelle alors que les agriculteurs en AC font davantage référence à l'incertitude des prix et à des prix trop bas. Cette performance « non marchande » de l'AB, 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.

1.2. L'évaluation environnementale : moindres externalités négatives, et l'environnement comme facteur de production

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 pommiers et la pomme de terre, avec la vigne, représentent les cultures ayant les indices de fréquence de traitement (IFT) les plus élevés. Les arboriculteurs en AB font en moyenne moins de traitements, mais c'est aussi au sein de l'AB que l'on rencontre la plus grande diversité de pratiques (Petitgenet, 2010). Les exploitations en conversion vers l'AB traitent, quant à elles, presque aussi souvent que celles en AC. 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 (Lamine *et al.*, 2008). Ces constats interrogent la performance écologique long terme de l'AB, du fait de l'utilisation importante de produits pouvant se révéler toxiques (tels que la roténone, le cuivre) en phase de substitution (Penvern *et al.*, 2010), mais aussi du fait d'un nombre élevé d'applications de produits à moindre efficacité pouvant générer des résistances (Boivin et Sauphanor, 2009).

Mobiliser l'environnement comme facteur de production : l'usage des services écosystémiques

L'environnement doit être en tant que tel considéré comme un facteur de production, et non plus seulement en termes d'impact de la production sur ses sous-compartiments (Fleury *et al.*, 2010). Basée sur une amélioration des services écosystémiques, incluant la biodiversité, la fertilité du sol, et la pollinisation, il s'agit d'optimiser 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 AB rejoint ainsi le renouveau actuel de l'agroécologie (Wezel *et al.*, 2009).

En revanche, certains itinéraires techniques à moindre impact environnemental (par exemple l'innovation technologique qui consiste à envelopper les rangées d'arbres avec des filets de protection « Alt'Carpo » pour éviter le carpocapse) ne mobilisent pas de fonctionnements agro-écologiques, puisqu'au contraire ce procédé soustrait les arbres de leurs interactions avec l'écosystème aérien. Des systèmes peuvent être donc être performants sur la dimension environnementale du fait de moindres externalités négatives, tout en n'étant pas performants sur l'usage de ressources environnementales vues comme facteur de production.

1.3. Vers un nouveau référentiel : d'une conciliation de performances à une combinaison de fonctions

La plupart des évaluations des systèmes écologisés se font par comparaison avec l'agriculture conventionnelle. Mais est-il nécessaire d'utiliser les mêmes critères de performances, les mêmes indicateurs, les mêmes outils d'aide à la décision qu'en conventionnel ? En effet, les référentiels choisis sont extrêmement corrélés aux modèles à évaluer, et ceux conçus pour l'agriculture conventionnelle, basés par exemple sur la productivité/ha, ne sont pas forcément pertinents pour les autres modèles de production. Comment évaluer davantage sur le temps long, plutôt qu'à l'année ? Nous arguons qu'il y a besoin de définir un nouveau référentiel, avec de nouvelles valeurs de référence, d'autres hiérarchisations, d'autres seuils, et d'autres optima (Sautereau *et al.*, 2010a) pour évaluer justement les systèmes écologisés, au regard de leurs propres finalités et systèmes de valeurs.

La nécessité de tenir compte des biais de sélection dans l'évaluation des performances

Dans une revue de la littérature sur les performances économiques de l'AB, Nemes (2009) met en avant la difficulté à produire des analyses comparatives fiables et pointe le besoin de travailler sur le domaine de validité des comparaisons existantes. 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 AB et AC ne prenant pas en compte la présence de biais de sélection. Or les caractéristiques des exploitations (structure, emploi, etc.) sont différentes en AB ou en AC, et les évaluations qui statuent sur les moindres performances de l'AB sont souvent remises en cause du fait de l'absence de prise en compte de ce biais. Les travaux comparatifs sont par ailleurs souvent produits à partir d'échantillons limités en taille pour ce qui concerne les exploitants en AB. Nous avons choisi de travailler à une évaluation des effets nets de l'adoption de l'AB sur les performances économiques et sur l'emploi. Les effets nets sont évalués dans le cadre de modèles statistiques avec appariement visant à constituer des groupes de contrôle comparables aux groupes des exploitations convertis à l'AB (voir Imbens et Wooldridge, 2009) à partir de données exhaustives à

l'échelle des territoires étudiés (plus de 1000 exploitations identifiées en AB pour PACA). Nous avons privilégié des estimateurs en double différence avec matching avec différentes façons de définir l'avant et l'après conversion. Comme 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 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'AB ne doit alors pas être comparée aux performances moyennes des exploitants toujours en activité en AC, mais doit intégrer dans le calcul les exploitations en AC ayant arrêté leur activité pour des raisons économiques. On évalue actuellement différentes pistes pour corriger cet effet.

Nous avons exploré dans cette première partie les liens et les tensions qu'entretiennent diverses performances (technico-socio-économiques, environnementales), et indiqué l'importance des performances dites « non marchandes ». L'évolution des systèmes et l'amélioration de leurs performances, notamment environnementales, peut générer de nouvelles propriétés systémiques (robustesse, autonomie, adaptabilité notamment) ; inversement il n'y a pas correspondance univoque entre les performances des systèmes et leurs propriétés. Ainsi, l'autonomie en intrants contribue à la fois aux performances agronomique (résidus de pesticides et qualité des produits), écologique (accroissement des interactions écosystémiques), économique (en réduisant les coûts de ces intrants) et environnementale (en limitant les risques de pollutions potentiellement liées à l'usage d'intrants externes).

2. Sur quelles bases concevoir des stratégies de protection horticole écolisées?

Dans la construction de systèmes écolisés, il s'agit de valoriser les fonctions écologiques de l'agro-écosystème tout en sachant que certaines d'entre elles peuvent générer des contre-performances : favoriser la biodiversité en aménageant l'environnement proche peut à la fois augmenter les populations d'auxiliaires et les populations 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 afin d'identifier les propriétés, processus et éléments du système à considérer, avant de mettre en place des pratiques agricoles visant à atteindre ces objectifs. Dans cette section, nous proposons de décrire un certain nombre de leviers pour l'écologisation de stratégies en protection des plantes en horticulture. La protection des plantes consiste en la gestion de populations de bioagresseurs (éléments/composants du système) afin d'éviter que les perturbations engendrées par leurs dynamiques (processus) n'affectent les performances et/ou propriétés escomptées, agronomiques, environnementales et économiques. En maraichage comme en arboriculture, la forte dépendance des systèmes aux intrants phytosanitaires dont l'impact sur l'environnement est aujourd'hui avéré, fait de la protection des plantes un enjeu crucial de l'écologisation des systèmes. Quels systèmes de culture et stratégie de protection faut-il mettre en œuvre pour obtenir les profils de performances et/ou de propriétés escomptés ?

2.1. Les bases de stratégies de protection écolisées

La protection des plantes s'est longtemps résumée à des interventions curatives (une fois les symptômes apparus) et éradicantes des bioagresseurs, à partir de produits monocible (« un pathogène – un produit ») ou à large spectre (Lewis *et al.*, 1997). Cette pratique a toutefois montré ses limites avec l'apparition de ravageurs secondaires et de phénomènes de résistance en même temps que la mise en évidence des conséquences environnementales et sanitaires défavorables. Ceci s'applique également à l'AB et aux produits autorisés par son cahier des charges (Wyss *et al.*, 2005 ; Boivin et Sauphanor, 2005 ; Zehnder *et al.*, 2007). Même si la réglementation le permet, l'utilisation de produits éligibles en AB n'est pas toujours souhaitable et ne peut en aucun cas être une solution unique. L'efficacité souvent partielle et la faible rémanence des biopesticides contraignent les agriculteurs à multiplier et répéter les traitements pouvant atteindre un nombre de traitement et des IFT (Indice de Fréquence de Traitements) aussi, voire plus, élevés qu'en conventionnel (Pervern *et al.*, 2010; Petitgenet, 2010). Sans moyen curatif à grande efficacité comme

les pesticides, 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 maraichage, les méthodes alternatives (prophylactiques, par aménagements, de contrôle direct...) n'ont individuellement que des effets partiels, sur une ou plusieurs cibles. Mais lorsqu'on les mobilise conjointement ou par effet cumulatif sur plusieurs années, elles sont susceptibles de maintenir les bioagresseurs en dessous du seuil de nuisibilité.

C'est dans ce contexte qu'est apparue la notion de stratégie de protection : la gestion des ravageurs passe alors par un ensemble de décisions coordonnées afin de définir quelle(s) tactique(s) et quel(s) moyen(s) mettre en œuvre, phytosanitaires et agronomiques, à plus ou moins long terme. La protection intégrée s'appuie sur des stratégies préventives basées sur une approche globale de l'agroécosystème 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 ; les pesticides chimiques n'étant préconisés qu'en dernier recours. En référence aux théories de l'écologie pour décrire l'adaptation d'un écosystème face à des perturbations, la protection intégrée associe deux types d'approches. La première, systémique, consiste à minimiser l'impact des perturbations engendrées par les bioagresseurs en dotant l'agroécosystème de capacités d'auto-régulation. La deuxième consiste en 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 l'utilisation de moyens d'interventions directs et ciblés apparaissent incontournables assimilables à du « lutter contre ». 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, à paraître).

Par ailleurs, l'écologisation d'un système peut se faire soit dès la conception de la parcelle ou du système agricole dans le cas d'une installation, soit à partir de l'existant, situation plus délicate en raison des contraintes imposées par les variétés et conditions d'implantation, peu malléables à court-terme. Nous présenterons dans un premier temps comment la conception *de novo* de l'agro-écosystème et de ses composantes permettent de limiter les risques phytosanitaires et par conséquent 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.

2.2. 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 naturelles à l'échelle de l'agroécosystème, au-delà de la seule parcelle ou du bloc de parcelles (Lewis *et al.*, 1997 ; Brown, 1999 ; Altieri and Nicholls, 2000). Parmi les marges de manœuvre, figurent (i) le choix des parcelles selon les caractéristiques du milieu, i.e. les conditions pédo-climatiques et les pressions parasitaires (ii) le choix d'un matériel génétique moins sensible aux bioagresseurs, et (iii) l'aménagement d'un environnement favorable aux régulations trophiques.

A 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. 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, qualité gustative), 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 la variabilité interannuelle de la production fruitière (phénomène d'alternance). De la même manière, la configuration du verger préconisée en agriculture conventionnelle (inter-rangs mono-spécifiques, arbre en mûr fruitier, haies mono-spécifiques), 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 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, ...) 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). Le plus souvent, les populations d'auxiliaires qui se développent à partir des infestations n'arrivent en quantité suffisante que tardivement, à moins qu'il ne s'agisse de ravageurs (ex. acariens, cochenilles, psylles) sans forte incidence sur le rendement et la qualité de la récolte pouvant être présents à des niveaux de population élevés. Bien que les bénéfiques en termes de contrôle des principaux ravageurs du verger soient souvent partiels et insuffisants pour permettre de supprimer la protection phytosanitaire et atteindre l'autonomie sanitaire, une diversité contrôlée peut être facteur de « stabilité » pour le verger, 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.*, 2009b). A partir des propriétés attendues d'un verger durable, la confrontation entre connaissances scientifiques et contraintes de la production permet d'imaginer différents prototypes. La figure ci-dessous présente un agencement original de la parcelle, source de diversité accrue et d'interfaces d'échanges intégrant une architecture innovante de l'arbre (la conduite centrifuge). Ce système de conduite a notamment un effet freinant vis-à-vis de certains ravageurs (pucerons et acariens) et maladies (tavelure) (Simon *et al.*, 2009).

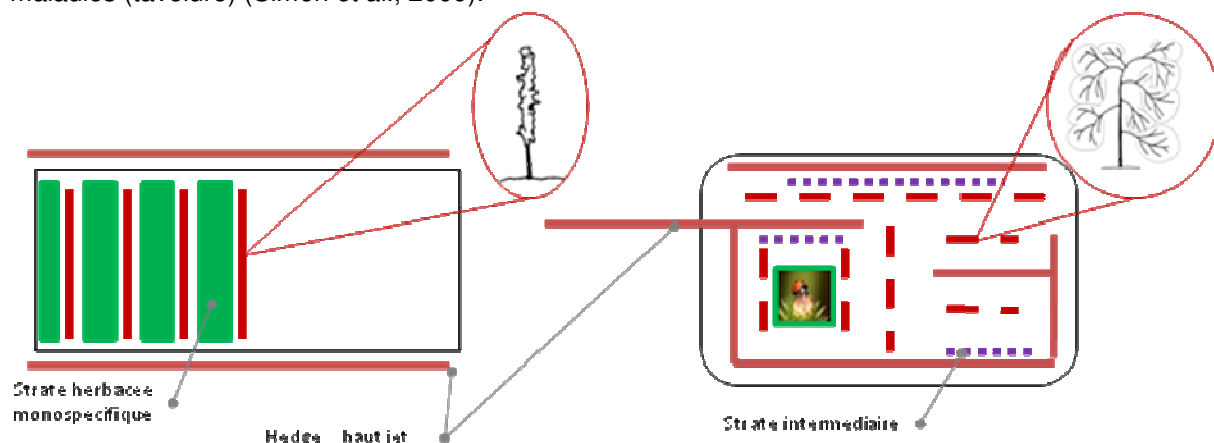


Figure 1 : Conception originale d'un verger favorable à la biodiversité fonctionnelle (d'après Fauriel, 2009)

2.3. Ecologisation des stratégies de protection : de l'efficacité à la reconception

Le référentiel ESR (**E**fficience-**S**ubstitution-**R**econception) peut être 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 (**E**fficience), l'utilisation des intrants peut être optimisée pour synchroniser l'application aux risques d'infestation ce qui permet de réduire le nombre d'application et les volumes appliqués. Le développement d'outils de détection et modèles de prévision, la technicité du matériel de

pulvérisation, les formulations des intrants, le suivi de l'état de santé des plantes sont autant de marges de manœuvre pour la réduction d'intrants. Dans le deuxième cas (**S**ubstitution), les intrants de synthèse peuvent être substitués par des intrants naturels (biopesticides ou agents de contrôle biologiques). La combinaison de techniques à effet partiel est une autre voie d'optimisation des itinéraires techniques, en particulier pour la protection du verger de pommier contre la tavelure (Parisi *et al.*, 2003). Les deux premiers pôles de ce cadre (l'**E**fficience accrue des intrants chimiques ou leur **S**ubstitution par des intrants alternatifs) 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 (**R**econception), il s'agit d'intervenir sur les composantes du système, organisationnelles ou structurelles, pour favoriser les mécanismes et les capacités de régulation « naturelles » de l'agro-écosystème et de traiter la cause des problèmes se manifestant dans les deux premiers pôles. On mobilise alors 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 l'itinéraire technique et amène à reconcevoir le système, ses composantes et son mode de gestion. En particulier, le choix d'un système de conduite basé sur une bonne connaissance de la biologie des plantes et permettant des réversibilités est un des éléments de cette reconception (Lauri *et al.*, 2008). Ces principes généraux de 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'agroécologie qui revendique justement une approche de type systémique débordant même la dimension strictement technique (Altieri et Nicholls, 2000 ; Gliessman, 2007).

Cette typologie ESR se retrouve dans les stratégies de protection observées sur le terrain vis-à-vis des pucerons du pêcher (Pevern *et al.*, 2010). Une enquête réalisée auprès d'une vingtaine d'arboriculteurs bio et conventionnels du Sud-est de la France a permis de distinguer ces trois classes de stratégies en plus d'une première relevant d'une pratique intensive de pesticides (thérapeutiques et à large spectre) assimilables au à la première étape « conventionnel » proposé par Hill (1999) : une seconde stratégie visant l'efficacité par l'utilisation de traitements de choc curatifs ; une troisième caractérisée par une substitution d'intrants qui privilégie l'application préventive de produits peu toxiques et la combinaison de méthodes alternatives et culturales ; une quatrième visant la reconception par une approche globale de l'agroécosystème intégrant un grand nombre de paramètres dans les règles de décision. L'évaluation de leur efficacité vis à vis des populations de pucerons et leur impact sur les populations d'auxiliaires montre les compromis entre efficacité vis-à-vis des pucerons et processus écologique de régulation des auxiliaires. Alors que les deux premières stratégies se révèlent très efficaces, les deux dernières conduisent à des résultats d'infestation importante malgré une diversité significativement plus élevée en auxiliaires. Cette étude montre en outre que cette classification est très dépendante du mode de production avec plus de 87% des agriculteurs bio relevant 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 au regard de l'efficacité souvent limitée des méthodes alternatives éligibles en AB. La vision dynamique de Hill (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 traitement 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 en AB (Lamine et Bellon, 2009a ; Pevern *et al.*, 2010). 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, obligent globalement les praticiens à davantage considérer les niveaux S et R en production fruitière.

L'analyse précédente, détaillée dans le cas de l'arboriculture, trouve également un écho en maraîchage, en particulier sur les travaux que nous conduisons pour une gestion écologisée de la santé des sols pour maîtriser les bioagresseurs telluriques tels que les nématodes et certaines maladies fongiques (sclerotinia, rhizoctonia) (Navarrete *et al.* 2010). Dans ce domaine, les marges de manœuvre relevant de l'**E**fficience sont déjà largement testées et utilisées par les maraîchers, mais elles n'ont pas permis de résoudre de façon durable les problèmes. L'objectif poursuivi est donc de mobiliser des processus biologiques ou écologiques

du sol grâce à des techniques agronomiques. C'est le cas de la solarisation qui a un rôle désinfectant partiel, ou des engrais-vert (biocides ou non) qui ont une influence sur les compétitions entre micro-organismes du sol, qui peuvent interrompre le cycle de certains bioagresseurs et jouent sur sa fertilité agronomique et sa structure. Parce que les techniques agronomiques mobilisées occupent les parcelles pendant plusieurs mois et sont éventuellement en concurrence avec les cultures commerciales (Navarrete et al., 2006), leur mobilisation relève, suivant les cas, de la **S**ubstitution ou de la **R**econception 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 de gestion chimique, est possible sans modification de cette rotation (Thèse de B. Collange, en cours). Les progrès ainsi permis en termes de propriétés sanitaires ont aussi pour conséquence des progrès possibles sur les propriétés d'autonomie (par la minéralisation de la matière enfouie) et de fertilité du sol.

En revanche les systèmes dans lesquels la période estivale est consacrée à une culture commerciale plus longue que dans le cas précédent (tomate ou poivron par ex.) ne se prêtent pas à cette substitution. Les exploitations suffisamment grandes et dont toute la surface n'est pas encore exploitée pourront résoudre cette incompatibilité temporelle par une répartition spatiale différente des cultures d'été. À l'échelle de la parcelle cela se traduit par une modification de la rotation dans laquelle une culture d'été est remplacée par l'une voire par ces deux techniques de gestion sanitaire du sol. Ce remplacement ne pourra intervenir tous les ans sur la même parcelle, ce qui implique que la nouvelle rotation soit conçue sur plusieurs années. Cette reconception libère aussi, l'année où les pratiques assainissantes sont réalisées, des contraintes sur les dates de plantation des cultures d'hiver, qui peuvent alors être raisonnées pour intervenir au moment où les conditions environnementales sont défavorables à l'activité de certains bioagresseurs (sols froids limitant le développement des nématodes par ex.). Cette modification supplémentaire renforce les capacités de maîtrise des bioagresseurs du sol de ce nouveau système. Par ailleurs, un degré plus avancé de la Reconception repose sur une réflexion plus large, non seulement des rotations à l'échelle de la parcelle, mais aussi des assolements à l'échelle de l'exploitation, pour augmenter la diversité des espèces et anticiper le risque de développement des pathogènes dans les sols, puisque leur contrôle sera ensuite difficile. C'est le choix que font un certain nombre de maraîchers très diversifiés en AB, mais cela suppose de coordonner dans le même temps les circuits de commercialisation dans lesquels les exploitations sont insérées (Navarrete, 2009).

Nous avons montré dans cette deuxième partie l'existence de nombreux leviers d'intervention applicables dès la conception du système afin de minimiser l'impact des bioagresseurs. Ceci pose la question de la sélection et de la hiérarchisation des objectifs dans cette conception du système. Cette hiérarchisation est soutenue par une activité de design (au sens de dessein), et traduite par des performances et leur acquisition dans le temps.

3. Quels dispositifs pour favoriser les transitions vers des systèmes alternatifs ? Quel rôle de la recherche ?

Comme les sections précédentes l'ont montré, l'écologisation des systèmes maraîchers et arboricoles est complexe. D'une part ces productions, qui se sont fortement intensifiées au cours des décennies passées, sont aujourd'hui dans des systèmes de contraintes fortes du fait même de cette intensification (l'extrême spécialisation des exploitations conduisant à une exacerbation des problèmes pathologiques). Il en résulte que les marges de manœuvre techniques pour écologiser les pratiques sont limitées, sauf à modifier en profondeur les systèmes sociotechniques. D'autre part l'évaluation des performances des systèmes écologisés, considérées individuellement, n'est pas systématiquement en faveur ou en défaveur des systèmes plus écologisés, ce qui constitue un frein à l'élaboration de nouveaux systèmes. Signalons cependant qu'en toute rigueur, les outils d'évaluation utilisés doivent être adaptés au modèle de référence concerné, comme cela a été montré relativement à l'usage d'indicateurs dans le cadre ESR (Bellon et al., 2007). Cela conduit donc à s'interroger sur la dynamique des changements 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.

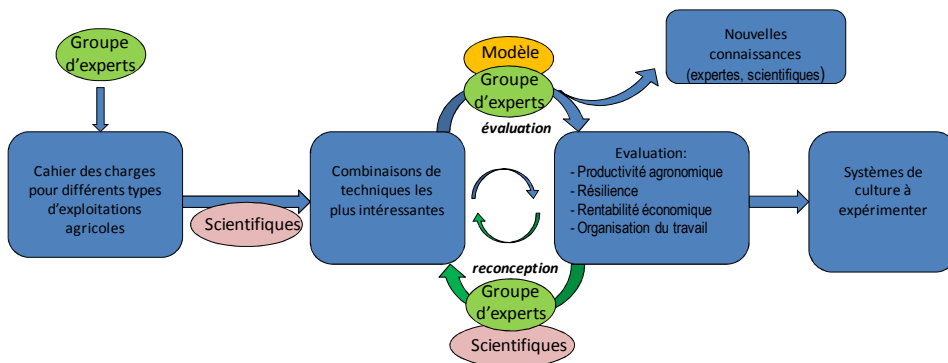
Sur la base des travaux conduits dans l'Unité d'Ecodéveloppement, nous présentons ci-dessous deux postures de recherche visant à faciliter l'écologisation : (a) une démarche de co-conception de nouveaux systèmes techniques conduite en partenariat entre des chercheurs agronomes et des acteurs du monde agricole ; (b) une démarche d'analyse des transitions dans le monde agricole, qui décrit en particulier en quoi les dynamiques territoriales et collectives facilitent ou freinent ces transitions, et en quoi l'intervention publique est potentiellement un levier efficace pour les transitions vers les systèmes écologisés.

3.1. Une démarche de conception de nouveaux systèmes de culture en partenariat avec des professionnels agricoles

Dans la littérature agronomique, différentes démarches de conception de systèmes de culture co-existent, qui associent conception et évaluation (Bird, 2009) ; l'évaluation a priori est généralement réalisée par le biais d'approches de modélisation ou d'évaluation multicritères (Sadok *et al.*, 2009 ; Tchamitchian *et al.*, 2009) permettant l'identification des points faibles de ces systèmes, puis l'émergence progressive des prototypes les plus prometteurs, qui seront alors testés par expérimentation. Il existe cependant une grande diversité dans les approches de conception, depuis celles uniquement portées par les scientifiques jusqu'à celles relevant de la recherche-action (Douthwaite *et al.*, 2003). Elles varient notamment par le niveau d'implication des partenaires professionnels et le moment de leur implication dans le processus de recherche, suivant qu'ils sont mobilisés pour l'élaboration du cahier des charges des objectifs, dans la recherche des solutions techniques, la construction de prototypes, dans la définition des critères d'évaluation ou encore dans la validation finale des propositions techniques (Loyce et Wery, 2006).

La démarche conduite à l'unité Ecodéveloppement (Bellon *et al.*, 2009b ; Navarrete *et al.*, 2010), à mi-chemin entre les deux archétypes précédents, consiste à construire en partenariat avec les professionnels agricoles des systèmes techniques alternatifs permettant de contrôler les pathogènes et ravageurs. Les leviers techniques visent éventuellement à optimiser l'efficacité des combinaisons de techniques déjà connues (relevant du pôle **E**fficacité du cadre conceptuel ESR) mais surtout à inventer des systèmes plus en rupture (pôle **R**econception). C'est cette nécessité de modifier plus radicalement les systèmes actuels (les systèmes de cultures, mais aussi leur agencement dans l'exploitation, voire l'articulation entre production, commercialisation, travail...) qui a conduit à la démarche de co-conception en partenariat avec des professionnels agricoles, basée sur un travail d'expertise commune et sur la modélisation biotechnique. Un groupe d'experts constitué de conseillers techniques et d'ingénieurs de stations d'expérimentation construit progressivement avec les chercheurs de nouvelles combinaisons techniques, mais aussi de nouvelles organisations entre parcelles. Il 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. Un simulateur DEXi légumes (Tchamitchian *et al.*, 2009) permet d'évaluer la résistance/résilience des systèmes de culture aux ravageurs et pathogènes, à l'échelle de la parcelle. Il sert donc d'interface pour faciliter les échanges (Figure 2) ; cependant pour les échelles supra-parcellaires, les arbitrages entre points de vue technique, économiques, sociaux, pour lesquels on ne dispose pas d'outil d'évaluation informatisé, c'est la confrontation de points de vue variés qui assure l'évaluation.

Figure 2 : Dispositif de conception de systèmes de culture en partenariat



Sur un certain nombre de questions techniques, les connaissances scientifiques sont encore trop lacunaires pour être en mesure de proposer des innovations radicales, d'ordres techniques ou organisationnelles. L'enjeu du projet est de combiner les connaissances des scientifiques et des professionnels, pour identifier des idéotypes de systèmes techniques ou de nouvelles organisations à l'échelle de l'exploitation, qui seront alors testés dans des stations expérimentales et exploitations.

Les marges de manœuvre des agriculteurs pour adopter des innovations techniques varient suivant les types d'exploitations, notamment suivant qu'il s'agit d'exploitations spécialisées ou diversifiées, qui combinent ou pas du maraîchage et d'autres cultures, des cultures de plein champ et des abris (Navarrete *et al.*, 2010). Les innovations doivent donc tenir compte de la diversité des exploitations, d'où le choix dans le projet de recherche actuel de construire des catégories d'innovations techniques par types d'exploitations et de s'appuyer sur les connaissances des professionnels pour exprimer et intégrer ces contraintes, autant que pour évaluer les possibilités de les lever. Il est également probable que des marges de manœuvre intéressantes existent au niveau de l'association d'exploitations (par des échanges de parcelles qui permettraient par exemple d'accroître la diversité des espèces à l'échelle d'une parcelle, tout en limitant la diversité des espèces par exploitation).

Dans cette démarche, on cherche à imaginer des systèmes éventuellement en rupture avec ceux existants aujourd'hui. Mais les agriculteurs innovent également sur leurs exploitations ; identifier la façon dont ils font évoluer leurs systèmes est donc source de pistes pour la recherche. Leurs dynamiques de changement dépendent notamment de leur insertion dans des réseaux territoriaux ou collectifs, autant de questions qui n'ont pas été abordées dans cette démarche, mais sont illustrées dans la section suivante.

3.2. L'analyse des transitions et le poids des dynamiques territoriales et collectives

Un autre ensemble de travaux de recherche s'est intéressé aux processus et conditions de transitions des exploitations vers des agricultures écologisées, en s'appuyant sur les cas de la protection intégrée (PI) et de l'AB, dans le cadre notamment des projets de recherche Tracks et Gédupic (Lamine *et al.*, 2008 ; Lamine, 2011) . Ces travaux ont conduit à souligner l'importance des dynamiques collectives et le rôle du conseil (voir aussi pour l'AB, Sautereau, 2009), 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.

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'AB, ou encore de systèmes de commercialisation qu'ils soient 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, les dynamiques collectives apparaissent comme des éléments clés des processus d'apprentissage (Darré, 1994 ; Compagnone, 2004) et de la robustesse des changements de pratiques. Du reste, la confrontation des cas de l'AB et de la PI suggère que cet ancrage dans des dynamiques collectives est probablement plus décisif encore dans le cas de la PI, les transitions vers la PI pouvant être plus réversibles que la conversion à l'AB - en grandes cultures par exemple, on a observé des retours en arrière dans l'application des principes de la PI, en fonction des conditions climatiques et surtout des prix relatifs des intrants et des produits - car non stabilisées par la certification et par le marché (Lamine *et al.*, 2008 ; Lamine, 2011).

Les mêmes enquêtes conduites depuis plusieurs années sur l'AB et la PI ont aussi montré que les transitions vers ces pratiques plus écologisées n'engagent pas que les seules pratiques techniques. Bien souvent, et en particulier dans le cas de l'AB, les producteurs doivent recomposer leurs modes de commercialisation en même temps que leurs pratiques de production (Navarrete, 2009). Le cadre ESR, précédemment appliqué aux changements techniques, peut aussi être mobilisé sur d'autres aspects du système d'exploitation et en particulier pour 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 biologiques à leurs équivalents conventionnels, ce qui impliquera en général de respecter le même type de critères de qualité (visuelle pour les fruits et légumes, technologique pour les céréales notamment), tandis que d'autres vont *reconcevoir* plus profondément leurs débouchés et se tourner par exemple vers les circuits courts. Toutefois, l'assimilation de la « reconception » (pour reprendre le R de la grille ESR) des pratiques de commercialisation à une écologisation de ces dernières ne va pas de soi, les circuits courts pouvant être moins écologiques. En outre, il serait faux de retenir que le passage à la bio, 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 parce que la conversion à la bio 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, parce qu'on observe aussi, dans le secteur du maraîchage qui incarne cette image de la diversification, 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 (voir Lamine et Cambien, 2011). Bien entendu, 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.

Le cas de l'AB, mais plus encore celui de la PI, permet aussi de montrer combien 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. Appuyés sur les théories des transitions (Dosi, 1982 ; Geels et Schot, 2007)¹, nous avons montré, à partir des 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, fondé sur la protection chimique. Ce type d'approche permet aussi de montrer comment les alternatives à ce modèle sont progressivement marginalisées par la force des stratégies dominantes et par l'inertie liée aux interdépendances dans le système. De ce fait, les alternatives ou « innovations de niche » n'ont pas réussi à percoler dans le système sociotechnique 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). En combinant ces deux grilles de lecture des transitions (ESR

¹ Ces théories, en opposition 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 puissants effets d'exclusion des voies alternatives.

et théories des transitions), on peut d'ailleurs lire certaines formes de circuits courts comme 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 re-conception (ou une extrême simplification) du système socio-technique constituant à la fois à supprimer les maillons intermédiaires liés aux filières aval et re-concevoir 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 question qui se pose alors est évidemment : quid des exploitations, des producteurs et des régions qui ne peuvent envisager des transformations aussi radicales ? C'est ce questionnement que nous poursuivons dans nos travaux actuels, en particulier dans le projet DynRurABio (ANR Systerra).

Les pistes étant multiples, l'une de celles que nous explorons en tout cas sous l'angle sociologique, est celle de la pertinence de l'échelle territoriale pour analyser et pour impulser ou faciliter une transition du système sociotechnique (voir 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 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 interdépendances.

Nous avons décrit dans cette troisième section deux démarches qui renvoient à des postures très différentes du chercheur. Dans la première, les chercheurs agronomes sont impliqués dans la recherche de systèmes techniques alternatifs, et essaient de promouvoir les changements dans un échange avec des acteurs agricoles. Dans la seconde, les chercheurs (en sciences sociales, mais aussi en agronomie) ont comme rôle d'observer des changements, qui se font indépendamment d'eux, d'en tirer des enseignements par la confrontation de différents cas, afin d'identifier et de caractériser les situations les plus favorables. Dans les deux cas, il s'agit de façons différentes de mobiliser les savoirs empiriques des acteurs (voir Faugère *et al.*, 2011). Toutefois, la seconde démarche inclut en général des formes de retour, d'échange et/ou de valorisation des résultats de recherche avec et auprès des acteurs. Ainsi, ces deux postures de recherche reposent toutes deux sur une mise en synergie des connaissances scientifiques et non scientifiques et des modalités d'apprentissage des acteurs (Cerf *et al.*, 2000).

Conclusion

Dans cette communication qui fait le point sur les 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 tenté de les articuler autour de trois aspects : les performances que doivent viser les nouveaux systèmes écologisés, les leviers à mobiliser pour les concevoir, et les formes de transitions et dispositifs d'acteurs soutenant ces transitions.

Nos travaux concernent la protection intégrée mais surtout l'agriculture biologique, et nous souhaitons insister en conclusion sur la nécessité de reconnaître la diversité des systèmes bio et de leurs performances respectives. En effet, les systèmes en AB présentent de multiples combinaisons de critères de performances, et certaines exploitations non biologiques peuvent avoir des impacts environnementaux plus bénéfiques que certaines exploitations AB intensives (Sautereau *et al.*, 2011). Dès lors, il est nécessaire d'adapter les modes de conception et d'évaluation des systèmes biologiques (comme ceux en protection intégrée du reste) à cette

diversité, et pour commencer, de se donner les moyens de caractériser cette diversité (Sylvander *et al.*, 2006 ; Desclaux *et al.*, 2009).

Les travaux dont nous avons rendu compte ont aussi conduit à souligner la nécessité de reconsidérer les échelles spatio-temporelles pertinentes. Ainsi, concernant l'évaluation des performances, il s'agit de prendre en compte (i) des pas de temps longs, qui permettent d'appréhender l'évolution d'un ensemble de performances liées à des objectifs reconsidérés ; et (ii) des échelles spatiales pertinentes, qui permettent d'accentuer les effets de certaines performances, et de relier certaines performances entre elles. En termes de conception de systèmes écologisés, il s'agit de repenser les espaces d'action au-delà de la seule parcelle cultivée, ainsi que les temporalités nécessaires à cette transformation des systèmes et de leur conduite (Bellon *et al.*, 2006). Cela questionne également l'approche parcellaire classique utilisé par les agronomes. Il convient ainsi 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, une analyse plus sociologique des transitions montre que c'est à l'échelle du système socio-technique plus large (englobant les exploitations et leurs stratégies, mais aussi le conseil, la sélection variétale, la recherche, les filières aval, et les politiques publiques) 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 *et al.*, 2009). En effet, si l'approche « classique » de la durabilité reposant sur la conciliation des performances dans les 3 dimensions économique, environnementale et sociale est un premier niveau, il nous paraît important de passer à une approche systémique qui appuie 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 (effets des choix à plus ou moins long terme) (Bossel, 1999, Geniaux *et al.*, 2006). Ces enjeux seront abordés dans le projet ANR DynRurABio, en particulier en horticulture biologique, en s'attachant aux conséquences de dynamiques en cours en AB (extension géographique, intensification de la production) sur les performances des systèmes biologiques.

Références bibliographiques

Altieri M.A. (1999) The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74:19-31.

Altieri M.A., Nicholls C.I. (2000) *Applying agroecological concepts to development of ecologically based pest management strategies* Natl 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. (2009b) Eco-design and co-design : application to fruit production in Europe. *Farming Systems Design 2009*, 2009/08/23-26, Monterey CA (USA). IEMSS, International Environmental Modelling and Software (CHE). *Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems*. 2009. 29-30

Bird G.W., Grieshop M., Hepperly P., Moyer J. (2009) Climbing Mt. Organic: An Ecological Approach, in: C. Francis (Ed.), *Organic Farming: The Ecological System*, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. 197-214.

Boivin T., Sauphanor B. (2005) Modélisation de la phénologie du carpocapse des pommes. Intégrer la résistance aux insecticides *Phytophila la Défense des Végétaux*, 581: 25-27

- Bossel H., (1999), Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications, IISD Publications IISD, 1999. Book, 124 p.
- Brown M.W. (1999) Applying principles of community ecology to pest management in orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 73:103-106
- Capitaine M., David C., Freydenon R. (2009) Evaluation 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 Ecologisation, Avignon, mars 2011
- Cerf M., Gibbon D., Hubert B., Ison R., Jiggins J., Paine M., Proost J., Roling N. (2000) Cow up a tree. Knowing and learning for change in agriculture. Case studies from industrialised countries, Paris, INRA Editions Science update
- Compagnone C. (2004) Agriculture raisonnée et dynamique de changement en viticulture bourguignonne. *Recherches Sociologiques* 3, 103-121
- Darnhofer I., Lindenthal T., Bartel-Kratochvil R., Zollitsch W. (2010) Conventionalisation of organic farming practices: from structural criteria towards an assessment based on organic principles. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30:67-81.
- Darré J.P. (1994) Pairs et experts dans l'agriculture. Dialogues et production de connaissance pour l'action. Erès Editions, 228 p.
- 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 & 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, *Agric. Systems*, n°78, pp.243-265
- Faugère E., Navarrete M., Charles M., Étienne M., Fauriel J., Lasseur J., Lécrivain É., Napoléone M., Paratte R., 2001. Des connaissances scientifiques en quête de connaissances d'acteurs, *Natures, Sciences et Sociétés*, à paraître.
- 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*. Editions Quae, educagri, pp 51-74
- Fauriel J., Bellon S., Gallia V., Ruesch J. (2009) Total Total polyphenol content of peaches is influenced by crop management regime and nitrogen fertilization. *International Symposium on human health effects of fruits and vegetables*, 2009/10/18-21, Avignon (FRA). FAV health 2009. Abstracts. 2009. 1 p.
- 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? Book of proceedings : International Conference on Organic Agriculture in Scope of Environmental Problems. EMCC - European Mediterranean Conferences and Conventions, Istanbul (TUR), pp. 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. pp. 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., and Powell, B. (2006). Sustainable Development Indicator Frameworks and Initiatives. Technical report, SEAMLESS reports.
- Gliessman S.R. (2007) Agroecology, ecological processes in sustainable agriculture. CRC Press.
- Hill, SB (1985) Redesigning the food system for sustainability. *Alternatives*, 12 (3/4): 32-36.
- 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 & Environment* 73:107-110.
- Hill, S.B. (2005) Critically acknowledging, celebrating and enabling further development in 'Deep Organics' contributions to sustainability and wellbeing: a Social Ecology perspective. Keynote to IFOAM 2005 Conference, Adelaide, SA, 20-23 Sept
- Imbens G., Wooldridge J. (2009). Recent developments in the econometrics of program evaluation. *Journal of Economic Literature*, 47(1):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, Ed. 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* (à paraître, 2011)
- Lamine C., Cambien L. (2011) Les transitions vers l'agriculture biologique : une approche à l'échelle d'un système agri-alimentaire territorial, colloque Ecologisation, Avignon, mars 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, *Proceedings of the First International Symposium on Horticulture in Europe*, International Society for Horticultural Science (ISHS), Vienna, Austria. 243-249.
- Lepoutre J. (2010) Phénomène de conversion à l'AB en région PACA et étude comparative, mémoire MASTER 2, GREQAM INRA, 51 pages.
- 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
- López-ridaura S., Keulen H.V., Ittersum M.K.v., Leffelaar P.A. (2005) Multiscale Methodological Framework to Derive Criteria and Indicators for Sustainability Evaluation of Peasant Natural Resource Management Systems. *Environment, Development and Sustainability* 7:51-69.
- 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.

Loyce C., Wery J. (2006) Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture. In Doré et al. (Eds) L'agronomie aujourd'hui. 77-95

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? 3èmes journées de recherche en sciences sociales INRA-SFER-CIRAD, Montpellier, 9-11 décembre, 2009.

Navarrete M., le Bail M., Papy F., Bressoud F., Tordjman S. (2006) Combining leeway on farm and supply basin scales to promote technical innovations in lettuce production. *Agron. Sustain. Dev.*, 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.) 10 pp.. ISDA, Innovation & Sustainable Development in Agriculture, Montpellier (FRA)

Nemes, N. (2009). Comparative analysis of organic and non-organic farming systems: A critical assessment of farm profitability. Technical report, FAO, 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 & 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. 60 p.

Parisi L., Didelot F., Brun L. (2003). Raisonner la lutte contre la tavelure du pommier, un enjeu majeur pour une arboriculture durable. Conférence Internationale sur les maladies des plantes ; 2003/12/03-05 ; Tours (FRA). AFPP, Association Française de Protection des Plantes (FRA). *Maladies des Plantes*. 2003. 8 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

Petitgenet M., 2010. Etude des performances lors des transitions vers l'agriculture biologique dans des systèmes arboricoles en région PACA. Mémoire de fin d'étude ENITA de Bordeaux

Reau R., Doré T., 2008. Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Dijon, Editions Educagri. 176 p.

Reganold J.P., Glover J.D., Andrews P.K., Hinman H.R. (2001) Sustainability of three apple production systems. *Nature*, 410, pp. 926-930

Ricci P., Bui S., Lamine C. (Eds). *Innovations et transitions vers une protection plus écologique de la santé des plantes*. Educagri éditions/éditions Quae (à paraître 2011)

Sadok W., Angevin F., Bergez J.-É., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messéan A., Doré T. (2009) MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agron. Sustain. Dev.*, 29(3): 447-461

Sauphanor B., Simon S., Boisneau C., Capowicz 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. (2009) Soutenir le développement de l'AB : conseils et dispositifs incitatifs à la conversion. In : Lamine, C. ; Bellon, S. (Eds) *Transitions vers l'agriculture biologique. Pratiques et accompagnements pour des systèmes innovants*. Editions Quae, Versailles (FRA) ; Sciences en Partage, pp. 193-218

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. ISDA 2010 Innovation et Développement Durable dans l'Agriculture et l'Agroalimentaire, 2010/06/28-2010/07/01, Montpellier (FRA). 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. 16-18/06. Lelystad (NLD). 2010. 13 p.

Sautereau N., Penvern S., Petitgenet M., Fauriel J., Bellon S. (2011), Concilier des performances pour une agriculture durable, l'agriculture biologique comme prototype, N° 2011/33, Résultats du Département INRA SAD FaçSADe, 4 pages

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.

Sylvander B., Bellon S., Benoit 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 City (CAN)

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. DOI: 10.1051/agro/2009004.

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", XXII International Congress of Entomology, Brisbane, Australia

Zehnder G., Gurr G.M., Kuhne S., Wade M.R., Wratten S.D., Wyss E. (2007) Arthropod pest management in organic crops. *Annual Review of Entomology*, 52:57-80

	Maraichage	Arboriculture
E	Irrigation sur tensiomètre, et non plus programmée. Monitoring pour les maladies fongiques aériennes	Suivi et observation pour mesurer l'état des sols (analyse de sol) et des risques pathogènes Pulvérisation localisée Gestion de l'irrigation basée sur la régulation des apports d'eau selon l'indicateur du statut hydrique des arbres (ex : Pepista®)
S	Introduction de méthodes alternatives de gestion des bioagresseurs (en remplacement des pesticides) : - Lutte bio par introduction (aleurodes) Techniques assainissantes : Solarisation Fumigation Engrais verts, tourteaux Et leur combinaison	Produits naturels Méthodes alternatives : confusion ou suppression manuelle branches infestées Suppression ou accélération de la dégradation des feuilles à l'automne par broyage ou enfouissement limitant les risques d'infestation par la tavelure (<i>monilioses</i>) Architecture de l'arbre (systèmes de conduite)
R	L'introduction de ces techniques ou combinaisons si modification du système. Abandon d'une culture d'été longue au profit des techniques alternatives	Sur-greffage, gestion de l'environnement proche (haies, hôte secondaire), intégration de l'animal

Classification des différentes options techniques pour l'écologisation des systèmes de production en arboriculture et en maraichage. Surlignés en jaune, les exemples détaillés ici.