



HAL
open science

Conception de systèmes horticoles innovants : bases biologiques, écologiques et socio-économiques

Pierre-Eric Lauri

► **To cite this version:**

Pierre-Eric Lauri. Conception de systèmes horticoles innovants : bases biologiques, écologiques et socio-économiques. Formasciences, FPN, INRA, 3, 256 p., 2014, Ecoles-chercheurs INRA, 2-7380-1360-0. hal-02799993

HAL Id: hal-02799993

<https://hal.inrae.fr/hal-02799993>

Submitted on 5 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.

Écoles-chercheurs
INRA



Conception de systèmes horticoles innovants

Bases biologiques,
écologiques et socio-économiques

Sous la direction de
Pierre-Éric Lauri



École-chercheurs INRA-CIRAD

Conception de systèmes horticoles innovants

Bases biologiques,
écologiques et socio-économiques

Dans la même collection

– N° 0 –

Méthodes statistiques bayésiennes

Bases théoriques et applications en alimentation, environnement et génétique

Sous la direction de David Makowski

– N° 1 –

Conception d'idéotypes de plantes pour une agriculture durable

Sous la direction de Philippe Debaeke et Bénédicte Quilot-Turion

Aude Alaphilippe, Jean-Charles Bouvier, Jean-Philippe Deguine, Pierre Franck,
Claire Lamine, Pierre-Éric Lauri, Claire Lavigne, Fabrice Le Bellec, Pierre-Yves Le Gal,
Magalie Lesueur-Jannoyer, Éric Malézieux, Sandrine Maugin, Paule Moustier,
Mireille Navarrete, Frédéric Normand, Jérôme Olivares, Laurent Parrot, Servane Penvern,
Daniel Plénet, Alain Ratnadass, Serge Simon, Sylvaine Simon, Marc Tchamitchian,
Ludovic Temple, Cécile Thomas, Jean-François Toubon, Muriel Valantin-Morison, Faustin Vidogbena

Directeur de la publication

Pierre-Éric Lauri

Coordination

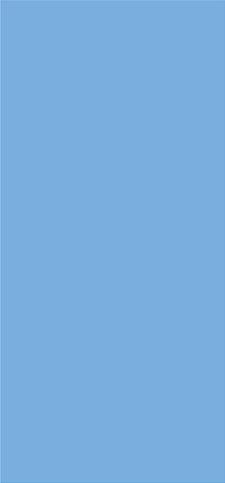
Pierre-Éric Lauri, Mireille Navarrete, Laurent Parrot, Sylvaine Simon



Juillet 2014

Remerciements

L'école-chercheurs « Approches agronomiques et socio-économiques pour la conception de systèmes horticoles écologiquement innovants et économiquement performants » (Sète, Hérault, 11 au 14 mars 2013), à l'origine de cet ouvrage, a bénéficié du soutien financier et organisationnel d'Agreenium (projet Ecohort), de l'INRA (métaprogramme SMACH et Formation permanente, FormaSciences), du CIRAD (département PERSYST, UR HortSys, et Délégation à la valorisation), ainsi que de Montpellier SupAgro (Service audio-visuel) et d'Agrocampus Ouest. Les auteurs remercient l'équipe FormaSciences INRA pour son appui à l'édition et ses conseils à la mise en forme de cet ouvrage.



Sommaire

11 **Avant-propos**
Éric Malézieux

19 **Introduction**
Systèmes horticoles innovants. Entre continuité et ruptures.
Quelques repères épistémologiques
Pierre-Éric Lauri

35 **Mises en situation**

37 Éco-conception et co-conception – L'expérience du groupe « Verger durable ».
Servane Penvern, Sylvaine Simon

49 Démarches participatives d'innovations agro-écologiques
en maraîchage tropical – Le projet BioNetAgro au Bénin
Faustin Vidogbena, Serge Simon

57 Co-conception, mise en œuvre et évaluation de systèmes
de cultures maraîchers écologiquement innovants à La Réunion
Jean-Philippe Deguine

71 Concevoir et évaluer des systèmes de cultures écologiquement innovants :
regards croisés horticulture-grandes cultures.
Muriel Valantin-Morison

87 De nouvelles approches pour la conception

89 Démarches de (co)-conception en horticulture.

Marc Tchamitchian, Pierre-Yves Le Gal

101 Co-conception de systèmes de culture agrumicoles à bas intrants – L'exemple de la Guadeloupe

Fabrice Le Bellec

115 Conception et évaluation de systèmes de culture à bas intrants phytosanitaires sur pommiers – L'expérimentation système BioREco

Aude Alaphilippe, Sylvaine Simon, Daniel Plénet

129 Conception de systèmes innovants en arboriculture et maraîchage – Quelles connaissances mobiliser ?

Mireille Navarrete

143 Biologie et écologie pour l'agronomie

145 Quelle intensification agro-écologique pour contrôler les bio-agresseurs dans les systèmes horticoles ? Contexte et cadre de réflexion

Sylvaine Simon, Magalie Lesueur-Jannoyer

155 Actions via la plante. Interactions entre l'architecture de la plante et les bio-agresseurs

Pierre-Éric Lauri, Frédéric Normand

169 Actions via les auxiliaires. Approche systémique de l'intensification écologique pour le contrôle des bio-agresseurs

Alain Ratnadass

181 Paysages et régulations biologiques. Impact de la structure paysagère sur les ravageurs et leurs ennemis naturels

Claire Lavigne, Pierre Franck, Jean-François Toubon, Cécile Thomas, Jean-Charles Bouvier, Sandrine Maugin, Jérôme Olivares

193 4. Socio-économie et innovations

195 Bases socio-économiques de la conception de systèmes horticoles écologiques innovants (SHEI)

Laurent Parrot, Ludovic Temple

211 Spécificités socio-économiques des systèmes horticoles écologiquement innovants (SHEI) en Afrique de l'Ouest

Faustin Vidogbena

219 Les dimensions sociologiques des innovations : une approche dynamique.

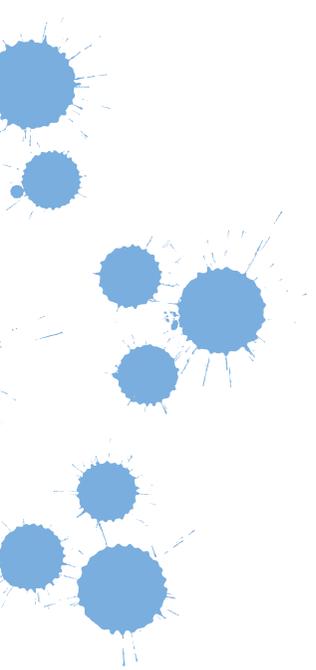
Claire Lamine

233 Valorisation commerciale d'une agriculture durable de proximité

Paule Moustier

245 Glossaire

251 Les auteurs



Avant-propos

Éric Malézieux

Aujourd'hui les agricultures mondiales connaissent de profondes mutations sous la pression de différentes variables politiques, économiques, sociales et environnementales. Les grands enjeux agricoles se modifient sous l'action des variables démographiques et sociales et sous l'effet de grandes mutations écologiques comme le changement climatique et l'évolution de la biodiversité sur la planète. Comment nourrir le monde demain ? Quels rapports l'homme et les sociétés doivent-ils entretenir avec la nature ? Comment ralentir le changement climatique et s'y adapter ?

Toutes ces questions en amènent une autre, qui interpelle directement les sciences agronomiques et qui porte sur les nouvelles formes d'agriculture à concevoir pour y répondre. Dans le monde, les profondes mutations que connaissent les systèmes de culture concernent les pays du Nord comme les pays du Sud. Il est désormais acquis que l'utilisation massive d'intrants de synthèse (pesticides, engrais chimiques) et de variétés améliorées (souvent pour la seule augmentation du potentiel de productivité en réponse aux intrants nécessaires) ne constitue pas une voie efficace pour un développement durable : les pollutions générées par les systèmes dits « intensifs », les impacts négatifs sur la biodiversité et la santé humaine induits par de tels systèmes, suffisent à montrer la nécessité de trouver de nouvelles formes d'agriculture capables de produire un ensemble de services écosystémiques, incluant la production de denrées, mais également la fourniture de services de régulation pour les écosystèmes. L'horticulture tient une place à la fois représentative et particulière dans ce contexte. Reconnue indispensable à une alimentation équilibrée, symbole d'une relation particulière à la Nature, mais requérant dans le même temps souvent l'emploi massif de pesticides pour pallier la sensibilité des fruits et légumes aux bioagresseurs, l'horticulture se trouve aujourd'hui dans une situation paradoxale et place les systèmes horticoles devant un besoin particulier d'innovation.

Pour concevoir de nouveaux systèmes, les sciences du domaine agronomique doivent mettre au point de nouvelles méthodes et outils, et mettre simultanément en œuvre de nouvelles formes d'interdisciplinarités, associant étroitement sciences biologiques, sciences biotechniques et sciences humaines et sociales pour répondre à un nouveau cahier des charges imposé par l'évolution des contextes écologiques, humains, culturels.

L'agroécologie constitue une voie d'innovation privilégiée pour la recherche aujourd'hui. Tentant de rassembler agronomie et écologie, portant dans ses objectifs une dimension sociale parfois explicite, l'agroécologie est une discipline en mouvement, autant dans ses dimensions scientifiques qu'institutionnelles. Elle renouvelle nos approches de l'horticulture mais aussi et surtout sa mise en œuvre.

Le projet EcoHort

Dans le cadre du projet EcoHort financé par Agreenium, et qui rassemble des équipes pluri-disciplinaires de l'INRA, du CIRAD, de Montpellier SupAgro et d'Agrocampus Ouest, une école-chercheurs a été organisée à Sète du 11 au 14 mars 2013. Cette école-chercheurs a rassemblé cinquante-deux chercheurs, enseignant-chercheurs, doctorants et étudiants de master II, pour approfondir nos connaissances et mettre en relation les disciplines des sciences biologiques, écologiques, biotechniques, humaines et sociales au service de la conception de systèmes horticoles écologiquement innovants et économiquement performants. Cet ouvrage, conçu sous la direction de PIERRE-ÉRIC LAURI, rassemble les acquis principaux de cette école-chercheurs, offrant un regard synthétique sur les connaissances et questionnements actuels dans le domaine de la conception de systèmes horticoles écologiquement innovants.

Introduit par un chapitre rappelant le contexte épistémologique de la démarche de conception de systèmes en agroécologie, l'ouvrage est composé de quatre parties majeures. Après la présentation dans une première partie de plusieurs situations concrètes et contextualisées, trois parties traitent successivement (I) des nouvelles approches pour la conception de systèmes innovants, (II) des bases biologiques et

écologiques puis (III) des bases socio-économiques de la conception de systèmes de culture innovants. Chacune de ces trois parties est introduite par un premier chapitre qui rappelle les éléments théoriques du domaine et offre une synthèse des discussions qui se sont tenues lors de l'école-chercheurs.

Dans son introduction à l'ouvrage, PIERRE-ÉRIC LAURI nous rappelle le contraste entre les déclarations positivistes officielles qui fixent le cap d'une nouvelle agriculture basée sur l'intensification écologique et d'autre part la réalité de sa mise en œuvre par les acteurs du monde agricole. Au plan épistémologique, l'agroécologie procède bien d'une « rupture », qui modifie tout autant pratiques de recherche et pratiques agricoles. Loin de l'approche réductionniste, la démarche de conception en agroécologie questionne ainsi notre capacité à interroger le « complexe » et à en effectuer une synthèse.

Dans la première partie de l'ouvrage, ont été rassemblés à titre d'illustrations plusieurs cas de mises en œuvre concrètes de démarches de co-conception avec des acteurs visant la mise au point de systèmes innovants. Des expériences issues de contextes et milieux différents, mais basées sur des démarches spécifiques de conception associant étroitement les acteurs locaux, sont rapportées.

Dans un premier chapitre, SERVANE PENVERN et SYLVAIN SIMON relatent l'expérience du groupe Verger durable, qui rassemble des acteurs issus des mondes de la recherche et du monde socio-économique venus de France, de Belgique, d'Espagne, de Suisse, pour réfléchir ensemble aux nouvelles modalités d'un verger plus « durable ». Les auteurs nous rappellent les propriétés mais également les leviers mobilisables pour concevoir des vergers plus durables, et soulignent la nécessité d'appréhender l'évolution en terme de « trajectoire » composée avec les acteurs. L'expérimentation-système constitue précisément une méthode expérimentale permettant de construire des dispositifs évolutifs basés sur l'utilisation de règles de décision intégrant des variables multiples (agronomiques, écologiques, économiques, sociales).

Après l'arboriculture européenne, le maraîchage tropical offre un cas d'étude contrasté, mais pour lequel l'objectif de réduction de l'utilisation des pesticides reste tout aussi prégnant compte tenu des enjeux sanitaires en terme de santé humaine : le second chapitre illustre une démarche de conception participative de systèmes de culture maraîchers innovants conduite dans les zones péri-urbaines du Bénin avec des groupes de petits producteurs maraîchers dans le cadre du projet BioNetAgro. Visant la réduction du recours aux pesticides, la démarche consiste en l'emploi de filets anti-insectes et inclut, outre l'élaboration participative des prototypes, une analyse *ex ante* et *ex post* des conséquences économiques et organisationnelles de cette pratique (FAUSTIN VIDOGBÉNA et SERGE SIMON).

Le troisième cas d'étude est consacré au projet intitulé GAMOUR (Gestion agroécologique des mouches des légumes à La Réunion), conçu avec la finalité de résoudre le problème des mouches des légumes qui causent d'importants dégâts sur les cultures de cucurbitacées à La Réunion, et de contribuer, par l'emploi de pratiques agroécologiques innovantes de protection des cultures, au développement d'une agriculture durable, productive et saine à La Réunion (JEAN-PHILIPPE DEGUINE). Associant expérimentations en plein champ, suivis des populations d'insectes et des pratiques associées et enquêtes de perception auprès des agriculteurs, le projet GAMOUR s'inscrit dans l'ensemble des démarches ECOPHYTO en partenariat avec l'ensemble des acteurs sur le territoire de La Réunion.

Dans le quatrième chapitre, MURIEL VALANTIN-MORISON offre un regard croisé entre systèmes horticoles et systèmes de grande culture : malgré les spécificités liées à la diversité et la temporalité dans les processus en jeu dans les systèmes horticoles, aux différents milieux et contextes de production, il est possible de définir un cadre d'analyse commun que l'auteur définit, à partir d'une analyse des différentes méthodes d'évaluation et de conception de systèmes aujourd'hui utilisées.

La seconde partie de cet ouvrage porte sur l'analyse des méthodes actuelles de conception de systèmes de culture en horticulture. C'est un champ de recherche opérationnelle actif qui a beaucoup évolué ces dernières années particulièrement dans sa dimension participative de plus en plus formalisée. Marc TCHAMITCHIAN et PIERRE-YVES LE GAL nous rappellent ainsi dans le chapitre introductif la nouvelle vision participative et interactive des processus de conception des innovations

associant les différents acteurs concernés, fournissant des éléments méthodologiques décisifs pour mieux comprendre le positionnement de ces nouvelles démarches aujourd'hui. Les trois chapitres suivants illustrent des démarches spécifiques de conception participative, à la fois dans le cadre de cycles longs (arboriculture) et de cycles courts (maraîchage). Pour aider à la reconception du système de culture agrumicole guadeloupéen, marqué par une utilisation élevée d'herbicides, FABRICE LE BELLEC propose un cadre méthodologique basé sur une méthode de prototypage participatif nommée DISCS (re-Design and assessment Innovative Sustainable Cropping System). Impliquant les acteurs à toutes les étapes du processus : diagnostic, conception et expérimentation des prototypes, évaluation, adoption et changement d'échelle, la méthode DISCS requiert et met en œuvre une forte interactivité entre chercheurs et producteurs. AUDE ALAPHILIPPE, SYLVAIN SIMON et DANIEL PLÉNET nous proposent une démarche voisine mise en œuvre sur pommier : l'expérimentation système BioREco vise à concevoir, expérimenter et évaluer des systèmes de production de fruits permettant la réduction de l'utilisation d'intrants phytosanitaires (fongicides, insecticides, herbicides). La conception de systèmes innovants requiert une diversité de leviers et de connaissances à mobiliser : dans le quatrième chapitre, MIREILLE NAVARRETE l'illustre en se basant sur des démarches entreprises pour le contrôle des nématodes à galle en maraîchage et la mise en œuvre de la protection intégrée de vergers de pommiers.

Construire de nouveaux systèmes écologiquement innovants requiert la création et la mobilisation de nouvelles connaissances associant biologie, écologie et agronomie. La seconde partie de cet ouvrage aborde les principales orientations actuelles dans ce domaine. Compte tenu de la sensibilité des plantes horticoles et des contraintes des marchés des produits frais, le contrôle des bioagresseurs constitue un enjeu majeur en horticulture. Assurer la transition agroécologique à partir d'un modèle « agrochimique » basé sur l'utilisation massive de pesticides vers de nouveaux systèmes basés sur la régulation biologique des bioagresseurs requiert de nouvelles connaissances, aux échelles de la plante, du peuplement et du système de culture, et, enfin, du paysage. C'est aujourd'hui un champ de recherche actif, dont SYLVAIN SIMON et MAGALIE LESUEUR-JANNOYER nous rappellent le contexte et le cadre de réflexion. Habitat et (ou) nourriture pour les bioagresseurs, la plante est un élément central de la vie et du comportement du bioagresseur. La connaissance des interactions plante-bioagresseurs constitue donc un élément essentiel, aux échelles de l'organe, de la plante et du peuplement

pour envisager une régulation. PIERRE-ÉRIC LAURI et FRÉDÉRIC NORMAND abordent le rôle de l'architecture et de la phénologie, sources potentielles de régulation aux échelles spatiales et temporelles. En complément à ce premier levier, ALAIN RATNADASS rappelle le rôle essentiel de la diversification végétale pour la régulation des bioagresseurs, illustrant à travers deux exemples d'approches systémiques la mise en œuvre de méthodes de lutte biologique par conservation dans une démarche de conception en arboriculture (rôle des fourmis tisserandes dans le contrôle de la mouche des fruits sur le manguier en Afrique) et en maraîchage (stratégie « *push-pull* » par association de plantes). Mais la plupart des ravageurs et auxiliaires interagissent au-delà des limites des parcelles cultivées : la structure des paysages, dans ses composantes biotiques et abiotiques (comprenant les pratiques humaines et leur répartition dans l'espace) a un impact majeur sur les régulations biologiques et le contrôle des bioagresseurs. Dans un quatrième chapitre, CLAIRE LAVIGNE *et al.* rappellent le rôle essentiel du paysage dans ces régulations, l'illustrant à travers le contrôle du carpocapse de la pomme dans les vergers de Basse-Durance.

La démarche de conception de systèmes innovants place l'acteur au centre du processus d'innovation. La troisième partie de cet ouvrage vise à explorer les bases économiques et sociales de la démarche. Dans un premier chapitre, LAURENT PARROT et LUDOVIC TEMPLE précisent les implications méthodologiques spécifiques liées aux systèmes écologiquement innovants : outils d'évaluation et d'optimisation, nature et perception de l'innovation, nouvelles approches procédurales et constructivistes de l'innovation, émergence des modèles systémiques d'analyse des processus d'innovation. Dans le chapitre suivant, fort de cette expérience, FAUSTIN VIDOGBÉNA rappelle les missions et défis des innovations en Afrique et propose une analyse des spécificités socio-économiques des innovations appliquées au cas des exploitations agricoles familiales en Afrique de l'Ouest.

Dans le troisième chapitre, CLAIRE LAMINE propose une approche sociologique des changements de pratiques en agriculture, construite à partir d'enquêtes récentes auprès d'agriculteurs impliqués ou non dans des transitions vers des formes d'agriculture écologisées : elle replace et explicite l'importance de la progressivité des trajectoires ainsi que celle des dynamiques collectives et réseaux sociaux dans les processus d'innovation et d'adoption, ainsi que l'importance de considérer l'ensemble du système agro-alimentaire territorial.

Enfin, dans un dernier chapitre, PAULE MOUSTIER porte un regard d'économiste sur les relations entre valorisation commerciale (coût, prix), qualité des produits et durabilité, illustrant ces concepts à travers la valorisation par les circuits courts.

Cet ouvrage synthétique, fruit des échanges riches tenus lors de l'école-chercheurs EcoHort, rassemble ainsi des points de vue et des regards croisés sur la démarche de conception de systèmes de culture appliquée à l'horticulture.

C'est un point d'étape, prémisse à de fructueux et nécessaires croisements disciplinaires pour faire progresser les démarches de conception de systèmes, objet central de recherche au croisement de l'agroécologie et de l'horticulture.

Systemes horticoles innovants

Entre continuité et ruptures Quelques repères épistémologiques

Pierre-Éric Lauri

1. Contexte socio-économique : un contraste entre les déclarations officielles et la mise en œuvre par les acteurs des filières horticoles p. 20
2. Contexte scientifique : nécessité d'une réflexion épistémologique sur la rationalité scientifique et la confrontation avec les systèmes complexes p. 22
3. Quelques clés pour bénéficier de la démarche analytique et aller au-delà. Vers une « pluralité des rationalités » (Grison, 2011) p. 26
4. Sciences, pratiques et acteurs. Des démarches en horticulture p. 30

Références citées p. 31

1. Contexte socio-économique : un contraste entre les déclarations officielles et la mise en œuvre par les acteurs des filières horticoles

Quelques citations

Stéphane Le Foll, ministre de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Forêt, 25 février 2013

« L'objectif est clair : j'entends faire de la France le leader de l'agro-écologie en Europe [...]. Il faut inventer un nouveau modèle agricole, aller vers une agriculture à la fois économiquement et écologiquement performante. Tel est bien l'enjeu des années à venir : parvenir à conserver de hauts niveaux de rendement tout en adoptant des modes de production plus respectueux de l'environnement. En somme : produire autant, mais avec moins. Moins de pesticides, moins d'énergie, moins de carburants, moins d'eau... » <http://alimentation.gouv.fr/alimagri-agro-ecologie>

INRA, lettre de vœux de la direction générale, 20 décembre 2012

« De nombreux chantiers nous attendent en 2013 : traduire en suites concrètes les propositions du rapport sur l'agro-écologie, [...] nouveaux métaprogrammes sur les services écosystémiques et la sécurité alimentaire, développer les sciences participatives... »

Cirad, restitution du groupe de travail sur l'écologie au Cirad, 8 avril 2010

« Une écologie appliquée aux agricultures : changer d'échelles, contextualiser, faire jouer les synergies. » http://intranet-com.cirad.fr/content/download/2159/11082/file/InraProgramme_Agro-ecologie20V3.pdf

Il y a bien un accord sur le fond entre la recherche et la profession sur la nécessité :

- de réduire les intrants phytosanitaires,
- de développer davantage les interactions entre acteurs pour donner corps aux objectifs politiques.

... mais un scepticisme du monde professionnel sur le caractère opérationnel de ces objectifs.

Exemple — Réaction de la presse professionnelle aux propos du ministère sur la réduction des produits phytosanitaires homologués, éditorial *Réussir fruits et légumes*, février 2013 : « Pensée autocratique » du ministère. Il n'y pas de « loi du tout ou rien pour les matières actives », avec des « impasses techniques » qui demeurent.

Ce décalage des discours repose en partie sur le fait que les cadres conceptuels, en général peu explicités, sont différents entre la démarche scientifique qui est essentiellement analytique et la démarche du professionnel qui est constamment confrontée à la complexité des phénomènes.

Dans ce qui suit, on s'attachera à préciser le cadre conceptuel de la recherche scientifique et en quoi ce cadre est discuté voire remis en cause par nombre de scientifiques.

Nous verrons enfin, au travers de réflexions récentes en horticulture, que sciences, pratiques et acteurs doivent interagir pour innover.

2. Contexte scientifique : nécessité d'une réflexion épistémologique sur la rationalité scientifique et la confrontation avec les systèmes complexes

Définitions

Les concepts d'épistémologie, de philosophie de la connaissance et de philosophie des sciences sont fondamentaux pour comprendre le cadre de pensée dans lequel se situe la réflexion sur les systèmes horticoles innovants.

Les périmètres de ces expressions ne font pas l'unanimité. On retiendra ici la définition suivante pour l'épistémologie : discipline qui prend la connaissance scientifique pour objet (<http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/epistemologie/48862>), et de façon plus complète, partie de la philosophie qui a pour objet l'étude critique des postulats, conclusions et méthodes d'une science particulière, considérée du point de vue de son évolution, afin d'en déterminer l'origine logique, la valeur et la portée scientifique et philosophique. (<http://www.cnrtl.fr/definition/epistemologie>)

Note — Pour certains auteurs, l'épistémologie est la philosophie de la connaissance en général, se rattachant ainsi à l'acception anglaise pour *epistemology* et *epistemological* (<http://plato.stanford.edu/entries/epistemology/>). Afin de conserver la définition donnée en préalable, on propose donc de traduire ces termes anglais par épistémique et de garder le terme épistémologie pour la connaissance scientifique *stricto sensu*. (Dupuy, 2000)

Des associations d'idées

De façon générale, la littérature associe les termes « système horticole innovant », « agro-écologie », « intensification écologique » avec « système complexe », « rupture », « controverse » mais parfois aussi avec « mythe », « idéologie », « idéalisme » (ex. : Dagognet *in* Lepeltier, 2013).

Exemple — L'« intensification écologique » placerait « la nature au cœur d'un monde ré-enchanté », « avec une force supérieure au-dessus de l'homme » (Goulet, 2012). L'enjeu, pour le scientifique, est alors de passer d'une idéologie (système explicatif dépassant les critères scientifiques usuels) à une discipline scientifique formalisée. (Parizeau, 2010.)

En quoi l'épistémologie nous éclaire sur ces discours ?

On est dans le cadre classique d'une « rupture » ou d'une « discontinuité » avec des savoirs antérieurs (Bachelard, 1938). Le cadre général formalisé par Kuhn (1962) nous dit que les sciences n'ont pas de développement linéaire mais procèdent par « révolutions » ou changements de paradigme.

La conception de systèmes horticoles innovants est probablement dans cette rupture car il ne suffit pas d'additionner des connaissances dans un champ scientifique particulier mais de maîtriser les multiples interactions entre l'agronomie (qui elle-même inclut *a minima* les champs de la biologie et de l'écologie), la socio-économie et la conception de systèmes.

Repères épistémologiques sur la façon dont se fait la science

A. Le concept dominant est celui de simplification

■ Les phénomènes les plus simples sont les plus généraux. Comte (1798-1857) développe le « positivisme » qui met en avant une « manière uniforme de raisonner » avec comme devise pour la progression de la science « ordre et progrès ». (Nouvel, 2011 ; Grison, 2012.)

■ Plus tard Bachelard (1938) précise que « La pensée scientifique moderne s'acharne à préciser, à limiter, à purifier les substances et leurs phénomènes. Elle cherche le ferment spécifique, objectif, et non la fermentation universelle ».

L'exemple du passage de la représentation du réel au modèle illustre ce processus de pensée. La modélisation est par définition la « représentation avec restriction à un objet défini et limité » et est « le fondement de l'activité du scientifique ». Ludwig Boltzmann (1844-1906) est le premier à avoir développé un modèle, celui du comportement d'un gaz, à l'origine de la « théorie atomique ». (Nouvel, 2011.)

Ces fondements sont ceux de la démarche « analytique » ou « réductionniste » qui constitue le cœur de l'activité scientifique.

B. Mais les excès de la pensée simplifiante sont soulignés

Dans une réflexion sur la société, Morin (1977) souligne que « le paradigme de simplification ouvre la porte à toutes les manipulations » et parle de « connaissance simplifiante donc mutilée... ». Cette critique s'étend à la démarche scientifique : l'« idéal réductionniste » initialement élaboré par les physiciens puis par les biologistes moléculaires a été remis en cause plus tard par les mêmes. (Pestre, 2006.)

En horticulture, l'ISHS (International Society for Horticultural Science) souligne que l'isolement des champs de connaissances crée des distorsions au sein de la société et prend pour exemple la relation entre production de nourriture et santé humaine : “There is no connection between food and health. People are fed by the food industry, which pays no attention to health and are healed by the health industry, which pays no attention to food.” (Berry *in* McCormick, 2012.)

C. On doit donc passer d'un paradigme de simplification à un paradigme de complexité

« Tout objet d'observation doit désormais être conçu en fonction de son organisation et de son environnement, de son observateur. » (Morin, 1977.)

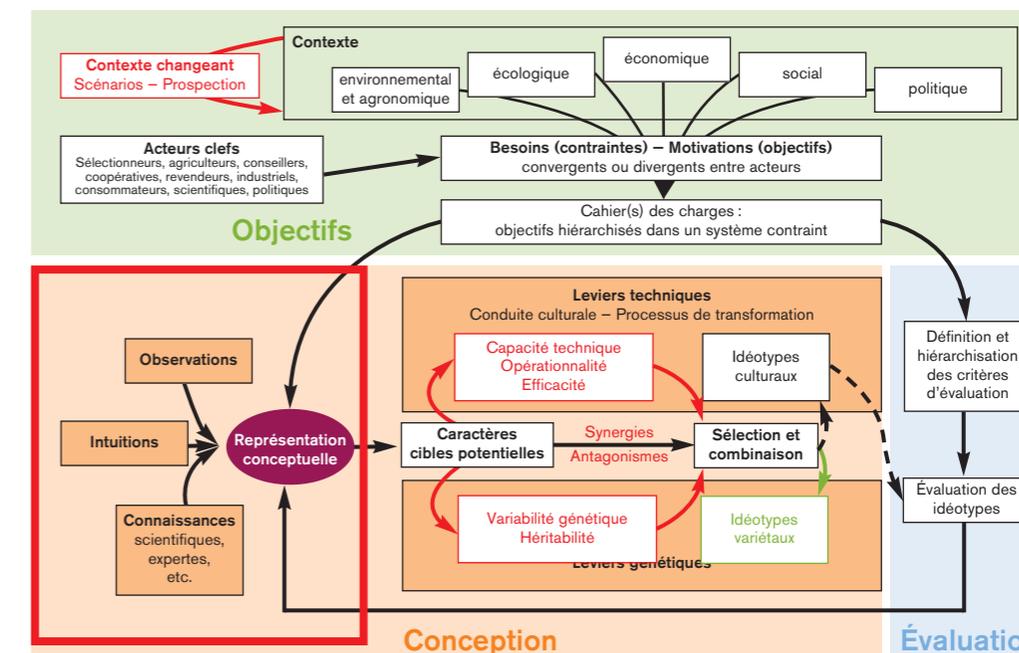
3. Quelques clés pour bénéficier de la démarche analytique et aller au-delà. Vers une « pluralité des rationalités »

(Grison, 2011)

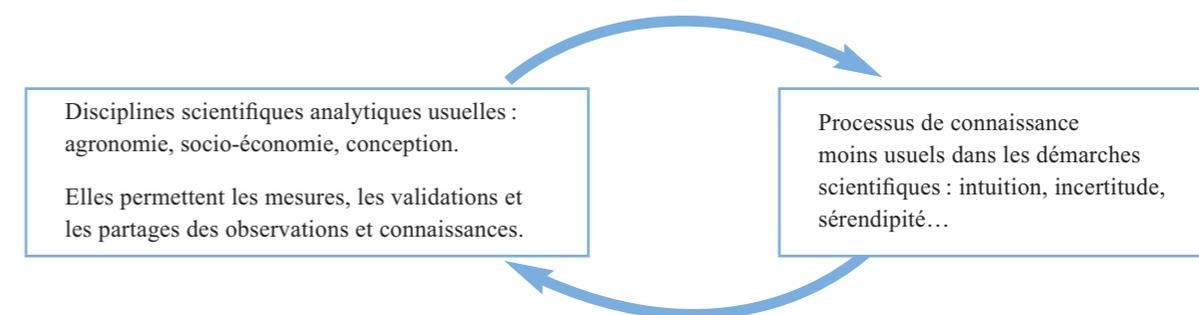
Exemple de la réflexion sur les idéotypes végétaux en grandes cultures.

(GIS GC ; Séminaire Paris, 7&8/02/2013 ; <http://www.gchp2e.fr/Actions-thematiques/Innovations-varietales/Seminaire-ideotypes>)

La formalisation de l'idéotype sollicite non seulement des disciplines telles que l'agronomie, l'écologie, et les sciences économique et sociale, mais également des champs de connaissances souvent qualitatifs et laissant une large place au raisonnement subjectif, parfois peu formalisé : « l'expertise », les « observations » et l'« intuition » (*encadré rouge ci-contre*).



La nécessité de développer une démarche scientifique permettant la mise au point de systèmes horticoles innovants, complexes par définition, où les maîtres mots sont « création », « innovation », « émergence », doit donc faire interagir deux types de connaissance :



A. Retour sur la démarche scientifique analytique

Elle repose sur deux processus :

■ **induction** : généraliser ce qui sera à partir de ce qui a été (plus d'une fois...).

Démarche à l'origine des probabilités ;

■ **déduction** : raisonnement à partir de la logique.

Ces deux étapes sont en fait très imbriquées et il n'y a pas de déduction sans induction préalable. (Besnier, 2011)

Par ailleurs, Karl Popper (1902-1994) propose que le critère de scientificité d'une hypothèse est celui de la réfutabilité : n'est scientifique que l'énoncé qui peut être réfuté, c'est-à-dire validé ou infirmé par une expérience, opérant ainsi une démarcation claire avec la métaphysique.

Mais cette apparence très rigoureuse de la démarche scientifique est loin d'être exacte dans les faits : « Il y a plutôt hypothèse suivie de recherche d'adhésion. C'est seulement parce qu'un nombre suffisant de personnes commence à croire à une hypothèse que celle-ci devient scientifique » (Nouvel, 2011). On notera également la réflexion désabusée de Max Planck (1948, in Lepeltier, 2013) pour qui une « vérité » ne le devient que parce qu'il n'y a plus d'adversaire ! Ainsi donc, la démarche scientifique n'est pas uniquement une affaire « rationnelle » : « La découverte scientifique est préparée par des tâtonnements et des errances. Elle résulte de démarches hybrides, impures au regard d'un positivisme facile. » (Théry et al., 2008)

B. Trois autres démarches de connaissance

La littérature scientifique met régulièrement en avant le fait que la démarche scientifique, notamment quand il s'agit de création ou d'innovation, procède également d'autres processus de pensée qui ne sont qu'après coup validés ou infirmés par la démarche analytique. Dans ces processus, les interactions entre chercheurs et autres acteurs sont fondamentales. On peut en citer trois à titre d'exemples :

■ **intuition** : « Avancer un pronostic qu'on est incapable de justifier par le raisonnement », « deviner », émettre une « hypothèse hors de la prolongation logique des raisonnements habituels » (sur les processus de raisonnement et d'émotion : Damasio, 1994 ; dans la démarche scientifique : Pessis-Pasternak, 1999 ; Nouvel, 2011) ;

■ **incertitude** : « Valeur positive de l'incertitude », « accepter de tourner le dos aux décisions tranchantes », « prendre des décisions révisables », « rapport prudent et humble à l'égard de la technologie et du pouvoir » (Joly, 2012) ;

■ **sérendipité** : de nombreuses découvertes ont été faites par hasard (Velcro, vulcanisation du caoutchouc, rayon X...). De nombreux auteurs se sont intéressés aux conditions pour que le fait accidentel devienne une découverte : il faut accepter les remises en cause — « Le scientifique qui ne cherche que ce qu'il pense trouver ne fait jamais de découvertes » (Roberts, 1989) —, il faut garder un esprit ouvert à d'autres schémas d'interprétation — « La chance ne favorise que l'esprit déjà préparé » (Pasteur in Roberts 1989).

Est-ce qu'une théorie fixe de la rationalité est suffisante, et même pertinente, pour progresser en sciences ?

Pour Feyerabend (1924-1994) le positivisme de Comte traduit surtout le besoin d'une sécurité intellectuelle, en se réfugiant derrière les notions de « vérité » et d'« objectivité ». La seule règle méthodologique qui permet le progrès scientifique est « tout peut marcher (*anything goes*) », « osons de nouvelles méthodes », « n'appauvrissons pas notre réflexion par notre soif de sécurité intellectuelle » (Feyerabend, 1975).

Au-delà du discours provocateur de Feyerabend, son message central est que toute progression de connaissance gagne à s'enrichir des différents types de connaissance. Cette question, très actuelle, doit être abordée de front par l'épistémologie car si on doit garder les apports du positivisme il faut également élargir l'horizon à ces discours plus iconoclastes. Il s'agit de plus en plus de faire « travailler ensemble des individus n'ayant pas les mêmes compétences, n'ayant pas été formés dans les mêmes disciplines... et qui pourtant doivent mettre en commun des données et hypothèses, afin de produire collectivement des prédictions » (Vorms in Lepeltier, 2013).

4. Sciences, pratiques et acteurs. Des démarches en horticulture

La mise au point de systèmes horticoles innovants, manipulant des champs de compétences très variés, demande de passer d'une vision réductionniste du monde à une vision travaillant explicitement sur et avec le complexe.

On retiendra dans les exemples suivants que la progression des connaissances ne peut se faire que s'il y a conjugaison des compétences mais également des interactions véritables entre les acteurs, le chercheur étant un acteur au même titre que les autres.

■ **Sébillotte (1996)** : la condition pour que la démarche aboutisse est la nécessité d'une recherche croisant non seulement les compétences mais aussi les acteurs : « Une véritable recherche-action, qui concilie l'existence d'une double rationalité, celle de l'acteur et celle du scientifique. »

■ **Théry et al. (2008)** sur le fonctionnement du COMEPRA (Comité consultatif commun d'éthique pour la recherche agronomique, 1998-2007) dont l'objectif était de répondre aux « questionnements de la société sur les impacts de la recherche agronomique sur l'environnement, les modes de vie et sur les organismes de recherche agronomique, leurs chercheurs et leurs missions » (clonage...).

Les idées force défendues par les auteurs en terme de dynamique de groupe sont celles-ci : « Totale liberté de parole », « qualité d'écoute », « dialogue sans dogmatisme », « besoin d'insolence de chacun de ses membres. L'insolence est l'aptitude à voir les choses sous un angle insolite. Se décaler par rapport à un problème relève de l'insolence. »

■ **Hubert (2009)**, dans sa réflexion sur les interactions entre disciplines et acteurs, mentionne deux démarches possibles :

- « académique » : demande des partenaires → question scientifique et traduction dans le champ disciplinaire → retour aux partenaires ;
- « recherche sur problèmes » : poser la conduite de la recherche dans les termes du collectif interdisciplinaire sollicité. « Cet effort ne peut être que collectif sous peine de laisser le champ libre à l'expression singulière des disciplines qui vont dicter le mode de traitement des problèmes. »

Il souligne l'intérêt de la seconde démarche et met en avant le fait que dans ce cas « les produits d'une telle recherche ne sont pas seulement constitués de la somme des résultats de chaque discipline impliquée, mais également des rétroactions dans le système de partenariat ».

Références citées

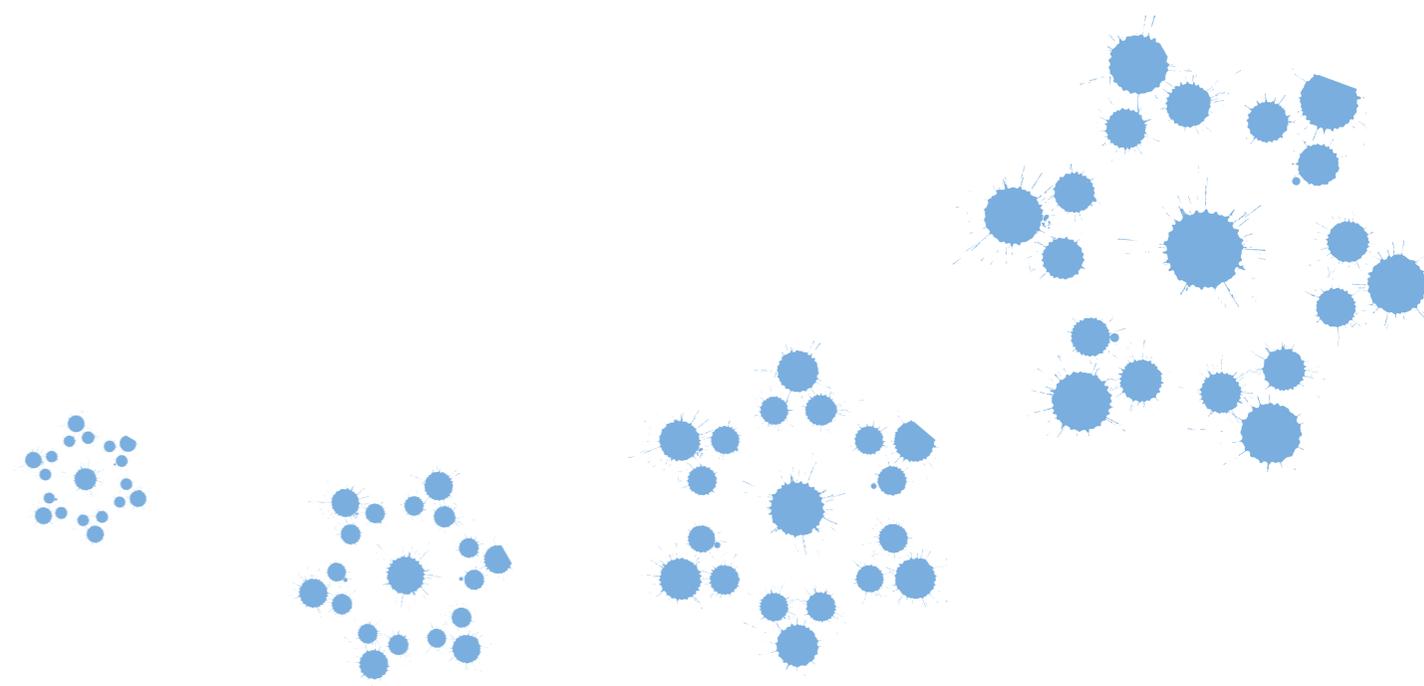
Ouvrages de synthèse recommandés

- GRISON F. 2011. *Les Sciences autrement — Éléments de philosophie à l'usage des chercheurs curieux*. Quae, Versailles.
- NOUVEL P. 2011. *Philosophie des sciences*. PUF, Paris.
- LEPELTIER T. (coord.). 2013. *Histoire et philosophie des sciences*. Seuil, Sciences Humaines.

Autres références citées

- BACHELARD G. 1938. *La Formation de l'esprit scientifique*. Vrin, Paris.
- BESNIER J.-M. 2011. *Les Théories de la connaissance*. Que sais-je. Paris.
- DAMASIO A.-R. 1994. *L'Erreur de Descartes — La raison des émotions*. Odile Jacob, 1995.

- DUPUY J.-P. 2000. *Les Savants croient-ils en leur théorie — Une lecture philosophique de l'histoire des sciences cognitives*. Collection Sciences en questions, INRA, Paris.
- FEYERABEND P. 1975. *Contre la méthode — Esquisse d'une théorie anarchiste de la science*. Traduction, Seuil, Points-Science, 1979.
- GOULET F. 2012. « La notion d'intensification écologique. » *In Le Courrier de l'environnement* n° 62, p. 19-29, INRA, Paris.
- HUBERT B. 2009. « La construction en partenariat de recherches sur problèmes : quelles pertinences entre objets et disciplines. » *In La Mise à l'épreuve — Le transfert des connaissances scientifiques en questions*. Quae, Paris, p. 209-218.
- JOLY P.-B. 2012. « De quoi discutent les sociologues des controverses ? » *INRA Magazine* n° 23, p. 8-9.
- KUHN T. 1962. *La Structure des révolutions scientifiques*. Traduction, Flammarion, Champs, 1983, Paris.
- MCCORMICK R. 2012. "A Whole Foods Plant Based Health Perspective, an Opportunity for Horticulture?" *Chronica Horticulturae*, 52(4) : 5-8.
- MORIN E. 1977. *La Méthode. La nature de la nature*. Seuil, Paris.
- PARIZEAU M.-H. 2010. *Biotechnologie, nanotechnologie, écologie*. Collection Sciences en question, Quae, Versailles.
- PESSIS-PASTERNAK G. 1999. *La Science : Dieu ou Diable ?* Odile Jacob, Paris.
- PESTRE D. 2006. *Introduction aux Science Studies*. La Découverte, Repères, Paris.
- ROBERTS R.M. 1989. *Serendipity — Accidental discoveries in science*. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.
- SEBILLOTTE M. 1996. *Les Mondes de l'agriculture — Une recherche pour demain*. INRA, Paris.
- THÉRY J.-F., BESNIER J.-M., HIRSCH E. 2008. *Éthique et recherche — Un dialogue à construire*. Collection Sciences en question, Quae, Versailles.



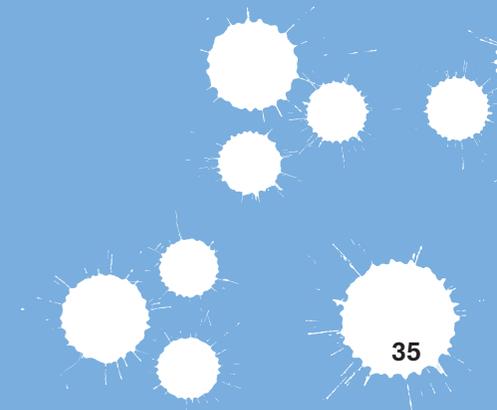
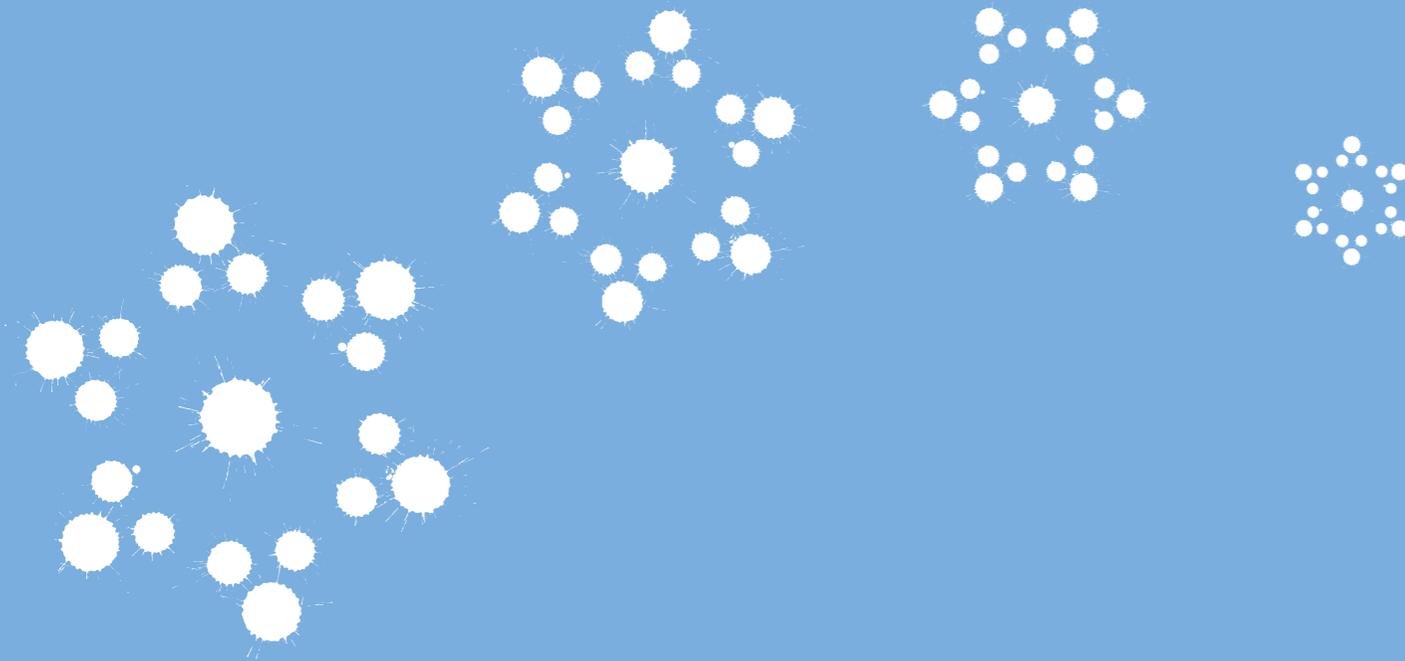
Mises en situation

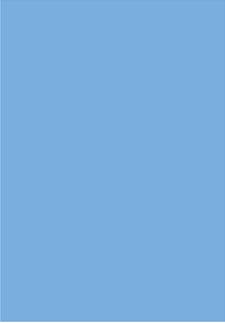
Éco-conception et co-conception
L'expérience du groupe « Verger durable » p. 37

Démarches participatives d'innovations agro-écologiques
en maraîchage tropical – Le projet BioNetAgro au Bénin p. 49

Co-conception, mise en œuvre et évaluation de systèmes
de cultures maraîchers écologiquement innovants à La Réunion p. 57

Concevoir et évaluer des systèmes de cultures écologiquement innovants :
regards croisés horticulture-grandes cultures. p. 71





Éco-conception et co-conception

L'expérience
du groupe « Verger durable »

**Servane Penvern
Sylvaine Simon**

1. Contexte p. 38
 2. Un groupe engagé dans une démarche itérative de partage et « fusion » de connaissances p. 39
 3. Quelles propriétés pour un verger (plus) durable ? p. 41
 4. Quels sont les leviers et combinaisons de leviers mobilisables pour concevoir des vergers plus durables ? p. 43
 5. Parmi les vergers existants, n'existe-t-il pas des vergers candidats ? p. 44
 6. Quelles trajectoires de vergers pour plus de durabilité ? p. 46
- Références citées p. 47

1. Contexte

Si l'arboriculture fruitière rencontre des contraintes spécifiques, en particulier liées à la pérennité du verger (qu'il faut également préserver) et à la mise en marché de fruits frais « zéro défaut », les systèmes de production actuels atteignent leurs limites. Organisée autour de l'objectif de production, la filière a largement privilégié l'utilisation des pesticides dans le schéma de production classique (sélection variétale, structure des vergers, pratiques de protection... ; Ricci *et al.*, 2011). Les vergers, en particulier de pommier, sont de fait très dépendants de l'utilisation des pesticides (Sauphanor *et al.*, 2009) qui génèrent des risques environnementaux et pour la santé humaine.

Ils ne sont donc pas satisfaisants en termes de durabilité environnementale, mais également économique et sociale dans un contexte de marché de plus en plus concurrentiel, et d'augmentation du prix des intrants et de la main-d'œuvre. La panoplie chimique est par ailleurs elle-même remise en question, du fait de l'apparition de souches de bio-agresseurs résistantes à certaines substances actives, ou de dispositions réglementaires pour interdire progressivement l'utilisation des produits les plus préoccupants pour l'environnement et la santé humaine.

Le système de production actuel n'est donc pas satisfaisant pour le consommateur et le citoyen (risques environnementaux et pour la santé), pour le producteur (risques pour la santé, distorsion entre pratiques et image du fruit frais et sain, coûts de production...) et pour le chercheur : pourquoi le verger, milieu complexe, multi-strates, pérenne... potentiellement propice au maintien des chaînes trophiques, est-il si éloigné d'un système agro-écologique reposant sur les régulations naturelles des ravageurs ?

Comment produire des fruits autrement ? Quelle(s) transition(s) vers des systèmes de production de fruits plus durables ? Telle est la question qui rassemble des producteurs, techniciens et scientifiques européens de différentes disciplines ayant une motivation commune pour se réappropriier la conception et la conduite des vergers, pour plus de durabilité.

Cette question renvoie à plusieurs questions préalables : quelles sont les propriétés d'un verger durable, pour répondre à une diversité d'objectifs, selon les situations, et remplir plusieurs fonctions ? Quels seraient les leviers (*i.e.* moyens d'action modifiant le système) et combinaisons de leviers mobilisables pour concevoir des vergers plus durables ? Parmi les vergers existants, n'existe-t-il pas déjà des vergers candidats ? Enfin, dans une perspective appliquée, quels changements de pratiques et plus largement quelles trajectoires des vergers tendraient vers plus de durabilité ?

2. Un groupe engagé dans une démarche itérative de partage et « fusion » de connaissances

Répondre à ces questions n'est toutefois pas aisé compte tenu :

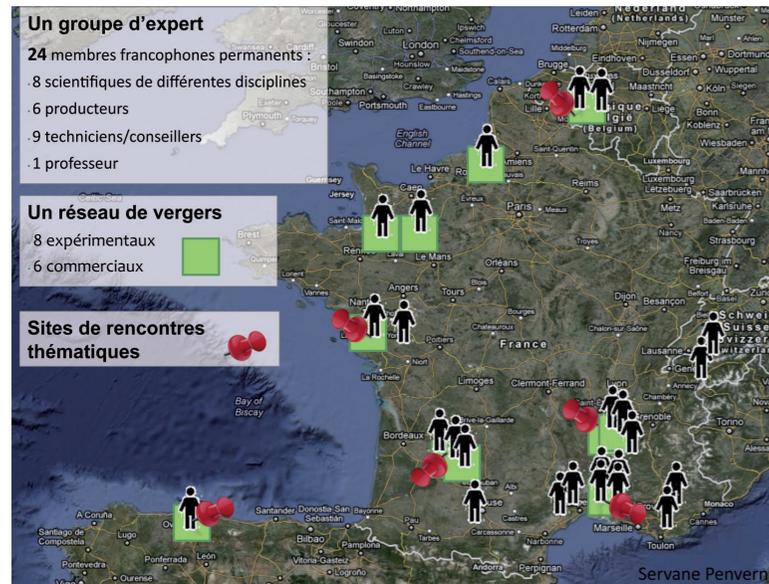
- de la spécificité des contextes de production de chacun ;
- des verrouillages socio-techniques souvent inconscients et difficiles à omettre ;
- d'incertitudes sur l'avenir (climat, marché...) ;
- de manque de connaissances sur l'effet des pratiques alternatives et de leur combinaison, en rapport avec le manque d'interdisciplinarité des recherches académiques.

En réponse à ces difficultés, un groupe, francophone et informel (*i.e.* non institutionnel), s'est constitué sur la base d'une volonté partagée de reconsidérer le schéma classique de production de fruits. Le groupe « embarque » de plus avec lui un réseau de vergers et d'expérimentation : parcelles de producteurs, expérimentations systèmes... Son animation est assurée par l'unité INRA Éco-développement d'Avignon (S. Penvern, A. Dufils, S. Bellon, et à ses débuts J. Fauriel) et il fonctionne depuis plusieurs années sans soutien financier après une phase de lancement amorcée en 2008 par le département Sciences pour l'action et le développement (SAD) de l'INRA.

Tous les ans, les producteurs, techniciens et scientifiques des quatre pays participants (France, Belgique, Espagne et Suisse) se réunissent et discutent leurs dernières avancées, des résultats scientifiques pour les uns ou des retours d'expériences pour les autres. Un thème structure chacune des rencontres et des intervenants sont invités pour enrichir les échanges. Partage d'expériences et de connaissances, *brainstorming*, visites de vergers de producteurs ou expérimentaux innovants, ateliers... ont permis de travailler à :

- intégrer les objectifs des différents participants (en particulier ceux des producteurs) dans la démarche,
- combiner des connaissances empiriques et scientifiques,
- intégrer les spécificités locales des situations propres à chaque producteur (contextes économique, pédo-climatique, social, etc.),
- garantir la conception de vergers prototypes réalistes et préciser leurs domaines de validité, c'est-à-dire les situations dans lesquelles ces vergers pourraient ou non être mis en œuvre.

Approche participative et multi-sites



Des vergers de producteurs ou expérimentaux innovants



3. Quelles propriétés pour un verger (plus) durable ?

Le groupe a permis de définir les propriétés auxquelles devrait répondre un verger durable

- La productivité à court terme intègre la productivité à long terme, en vue de préserver les ressources naturelles.
- Le verger durable est robuste et résilient, capable « d'absorber » les perturbations. Il est utile pour cela de favoriser les services agro-écosystémiques et de minimiser la consommation d'intrants (phytosanitaire, fertilisation, travail, énergie, eau).
- Il est adaptable et évolutif (« durabilité »), à savoir capable de s'adapter aux changements dans la durée (climat, prix des intrants, préférences des consommateurs...) d'où l'importance de favoriser la diversification (connaissances, variétés, revenus, modes de distribution...) et l'innovation.
- Il est à haute valeur ajoutée, pour une différenciation par le haut. Les fruits produits, à haute valeur nutritionnelle, gustative, de conservation (hors frigo) ou issus de vergers à haute valeur environnementale doivent être commercialisables et au « juste prix social » intégrant les services rendus.

Le verger durable est donc un système de production qui produit des fruits (voire d'autres productions) mais également d'autres services : il est ainsi multifonctionnel, et multiforme de par la diversité des contextes existants.

Propriétés et « qualités » du verger durable

Agronomiques

- Haute qualité gustative, nutritionnelle et sanitaire.
- Productivité nette stable et suffisante.
- Conservation (hors frigo).
- Activité biologique des sols.
- Nombre de passages et quantités d'intrants limités.

Environnementales

- Favorise les processus naturels.
- Préservation de la biodiversité.
- Bilan énergétique positif.
- Gestion optimale des ressources
- Faibles rejets dans le sol, l'air et l'eau.
- Impact positif sur le paysage.

Économiques

- Revenu viable.
- Revenu stable.
- Revenu durable et pérenne : capacité d'investissements à moyen et long termes.

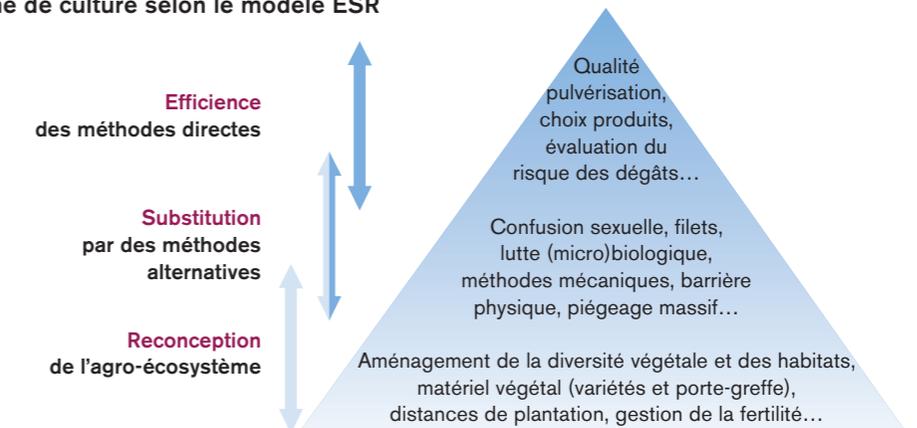
Sociales

- Emploi et qualité de vie.
- Lien au territoire.
- Produit accessible et attrayant (prix, goût) pour une plus grande consommation de fruits et légumes.
- Rapport au consommateur, santé publique (risques pesticides).

4. Quels sont les leviers et combinaisons de leviers mobilisables pour concevoir des vergers plus durables ?

Les expériences et connaissances du groupe ont permis de définir de multiples leviers (*i.e.* moyens d'action modifiant le système) qui pourraient être mobilisés afin de répondre non pas à tout mais au moins à une partie de ces objectifs. Répondre à ces multiples objectifs suppose effectivement d'associer une combinaison de méthodes qui peuvent être classées selon le modèle conceptuel ESR proposé par Hill *et al.* (1999) : efficacité (**E**, on améliore ce qui est déjà pratiqué), substitution (**S**, on remplace une méthode par une autre) et re-conception (**R**, on repense l'ensemble du système).

Illustration des différents niveaux de modification du système de culture selon le modèle ESR



5. Parmi les vergers existants, n'existe-t-il pas déjà des vergers candidats ?

Après cette phase de définition des propriétés et qualités du verger durable, l'exploration de prototypes inspirés d'innovations en verger a permis d'identifier plusieurs types de vergers durables répondant à tout ou partie de ces propriétés.

Le verger technologique par exemple a l'avantage d'être le plus productif et reproductible quelle que soit la région. Il utilise des technologies innovantes qui modifient directement le cycle des ravageurs, par exemple un filet empêchant la colonisation par un papillon ravageur du pommier, le carpocapse.

Le verger écologique tente en revanche de maximiser les processus naturels de régulation reposant sur la biodiversité fonctionnelle présente dans le verger pour éviter les pullulations de ravageurs. La diversification, par introduction d'animaux dans les parcelles ou de maraîchage dans les inter-rangs, représente une autre voie pour augmenter la durabilité des systèmes, en augmentant leur adaptabilité et (ou) leur capacité à absorber des perturbations. De manière générale, la gestion du sol et celle de la biodiversité apparaissent comme des éléments clés de la reconception de ces vergers.

L'évaluation de ces vergers ou de ces différents leviers reste problématique pour le groupe. Celle-ci est pour l'instant à dire d'expert, c'est-à-dire en accord avec les expériences et connaissances des membres du groupe. L'idée serait de disposer d'indicateurs et méthodes appropriables par tous, adaptés à toutes les situations, et surtout pertinents pour traduire les propriétés recherchées pour ces vergers, en vue de comparaisons entre systèmes. En effet, les indicateurs et méthodes existant ne répondent que partiellement à nos objectifs ; ils prennent peu en compte la trajectoire des vergers (conditions initiales et historique du verger) et font référence à des vergers traditionnels trop éloignés de ces vergers candidats, ce qui tend à occulter certains coûts et bénéfices de vergers très innovants.

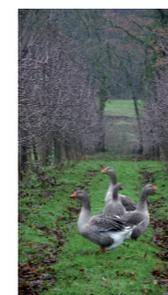
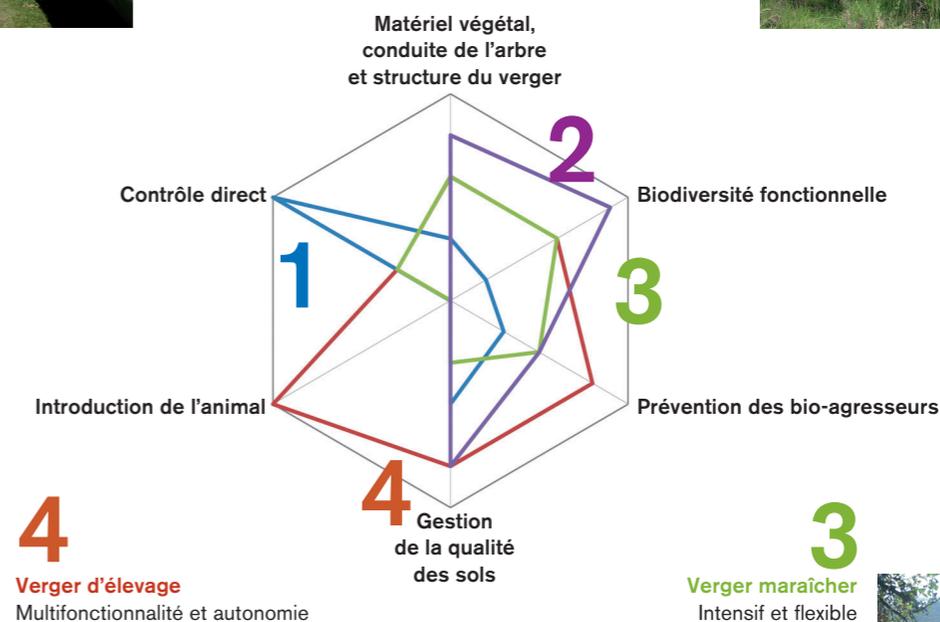
Prototypes candidats pour des vergers plus durables



1
Verger technologique
Reproductible et productif



2
Verger écologique
Résilient
Auto-régulation naturelle



4
Verger d'élevage
Multifonctionnalité et autonomie



3
Verger maraîcher
Intensif et flexible



6. Quelles trajectoires de verger pour plus de durabilité ?

De la même façon qu'il n'existe pas un seul type de verger pouvant répondre aux critères de durabilité, la trajectoire pour atteindre cet objectif de durabilité est multiforme. Elle dépend des conditions initiales, des marges de manœuvre envisageables et des changements de pratiques qui se font obligatoirement de manière graduelle. Revisiter un verger peut se faire selon plusieurs trajectoires, à partir du verger « classique », que l'on ajuste en proposant de nouvelles techniques ou des changements de pratiques, que l'on « déconstruit » pour proposer d'autres structures et schémas de fonctionnement, ou encore à partir d'un écosystème non cultivé que l'on modifie pour y produire des fruits.

Ces trajectoires associent par ailleurs une diversité d'acteurs. Ceux identifiés par le groupe comme étant décisifs dans la gestion du verger durable sont : les producteurs, les consommateurs, les conseillers, les décideurs et les distributeurs. Cela suppose que tous soient associés à la démarche pour que celle-ci aboutisse.

Tout au long de la co-construction de ces représentations, les principaux enseignements sont les suivants

- La « durabilité » du verger est plus une direction en perpétuelle évolution (en fonction du contexte et des connaissances) qu'une norme figée, et un verger sera durable si sa trajectoire progresse de manière importante dans cette direction : ceci concerne à la fois des vergers conçus *de novo*, et des vergers existants que l'on ferait évoluer pas à pas. L'évaluation sert alors de baromètre pour identifier les marges de manœuvre encore possibles.
- Il n'y a pas qu'une seule façon d'être durable : l'analyse des prototypes illustre par exemple que des pistes très variées (qui s'excluent ou pas) ont pu être explorées dans cet objectif de durabilité.
- En bref, la démarche de co-construction de verger durable pourra donc se définir comme une démarche pour **proposer des éléments pour l'installation et la transformation (amélioration) d'un verger vers plus de durabilité, que chacun pourra s'approprier en fonction de son contexte et de ses contraintes.**

Le groupe envisage de poursuivre sa démarche, en étant conscient de ses limites (composition du groupe, moyens limités, groupe francophone pour échanges sans traduction...). Il a toutefois permis d'initier un partenariat « agro-écologique » pour la reconception de vergers durables avec :

- éco-conception pour la définition des principes et processus/leviers,
- co-conception pour l'échange de connaissances et savoir-faire, trouver des solutions à de multiples problèmes et évaluer le domaine d'application des leviers et vergers prototypes par rapport à la diversité des situations.

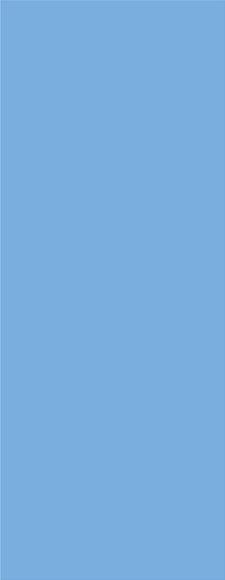
Il permet de proposer une démarche continue et évolutive pour l'adaptation des objectifs, des différents prototypes, des outils méthodologiques et des connaissances.

Crédits photos — Servane Penvern, INRA

Remerciements — À tous les participants du groupe Vergers durables qui ont contribué depuis maintenant sept ans à ce travail dont nous ne faisons que rendre compte. Merci également au département Sciences pour l'action et le développement de l'INRA et à l'unité Écodéveloppement pour avoir initié et maintenu son soutien au groupe.

Références citées

- HILL S., VINCENT C., CHOUINARD G. 1999. "Evolving ecosystems approaches to fruit insect pest management." *Agriculture Ecosystems & Environment*, 73 : 107-110.
- RICCI P., BUI S., LAMINE C. 2011. *Repenser la protection des cultures, Innovations et transitions*. Éditions Quae, Educagri éditions, 250 p.
- SAUPHANOR B., DIRWIMMER C., BOUTIN S., CHAUSSABEL A.L., DUPONT N., FAURIEL J., GALLIA V., LAMBERT N., NAVARRO E., PARISI L., PLÉNET D., RICAUD V., SAGNES J.L., SAUVAITRE D., SIMON S., SPEICH P., ZAVAGLI F. 2009. « Analyse comparative de différents systèmes en arboriculture fruitière. » In : INRA (éd.) *Ecophyto R&D : vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires*. Rapport d'expertise collective INRA, tome IV.



Démarches participatives d'innovations agro-écologiques en maraîchage tropical

Le projet BioNetAgro au Bénin

Faustin Vidogbena
Serge Simon

1. Le contexte p. 50
2. Évaluation des systèmes existants p. 52
3. La co-conception de nouveaux systèmes p. 53
4. L'évaluation multicritère, réalisée par chacun des partenaires du projet p. 54

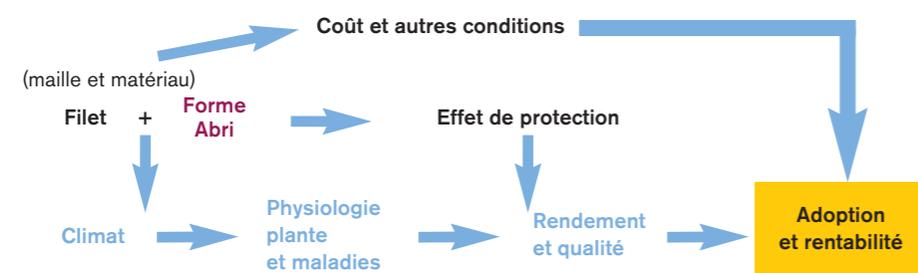
Références citées p. 56

1. Le contexte

L'usage de pesticides en maraîchage tropical est souvent excessif, incontrôlé et donc nocif à la fois pour l'environnement et la santé humaine (de Bon *et al.*, 2010, 2014). Les applications de pesticides menacent la santé des agriculteurs, celle des consommateurs (résidus dans les récoltes) mais également celle de toute la population car les applications répétées favorisent l'apparition de résistance des moustiques. Des objectifs de réduction du recours aux pesticides sur les cultures maraîchères ont donc été fixés.

L'objectif du projet BioNetAgro, financé par l'USAID à travers le programme HortCRSP, est de concevoir et diffuser des systèmes de culture innovants basés sur la réduction du recours aux insecticides pour contrôler les ravageurs des cultures maraîchères (Martin *et al.*, 2006, 2013). La pratique innovante mise en exergue est la lutte physique par l'utilisation de filets anti-insectes.

Figure 1 – Démarche générale



Le choix du filet est un compromis entre :

- efficacité de la protection
- conséquences induites sur la culture

La démarche adoptée sous l'angle socio-économique a consisté à entreprendre une évaluation *ex ante* des perspectives d'adoption et de diffusion de l'innovation. En effet, il n'existe pas encore un nombre significatif d'agriculteurs l'ayant adopté de façon autonome. Les travaux portent donc sur des perceptions et des intentions exprimées par des groupes sélectionnés dans le cadre d'essais et d'observations. Par ailleurs, la démarche de conception s'appuyant sur des prototypes successifs, le volet socio-économique s'est focalisé sur les principes du fonctionnement de l'innovation et non sur les spécificités de chaque prototype.

L'utilisation des filets permet une réduction de 70 % à 100 % du nombre d'applications d'insecticides tout en permettant une augmentation du nombre de choux récoltés et donc une amélioration du rendement. Les résultats des analyses auprès de quelques agriculteurs ont montré des ratios coûts/bénéfice systématiquement en faveur des filets. En revanche, les ratios sont très variables, de 1/1,17 à 1/36 en raison de l'extrême diversité des pratiques et de la taille des exploitations. Si l'on considère de façon standardisée les bonnes pratiques, le ratio est de 1/3 en faveur des filets et de 1/1,16 en faveur des pesticides. Les résultats auprès de plus de 200 agriculteurs ont montré que l'implication de l'agriculteur dans des essais, la taille réduite des parcelles allouées au maraîchage et la proximité avec des services de vulgarisation, influencent positivement la perception que les agriculteurs se font des filets.

2. Évaluation des systèmes existants

L'analyse partagée avec tous les acteurs des systèmes existants permet de définir le cadre des contraintes. Les cultures maraîchères sont présentes chez de nombreuses exploitations familiales en agriculture urbaine et périurbaine. Certaines productions reçoivent de nombreuses applications de pesticides en raison de sévères attaques de bio-agresseurs dont certains ont développé des résistances aux insecticides (Houndete *et al.*, 2010).



Plutella xylostella



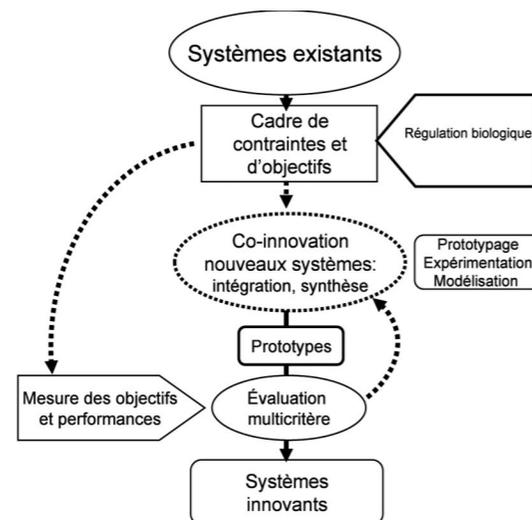
Hellula undalis



Spodoptera littoralis

La démarche de conception adoptée est une démarche participative basée sur le prototype.

Figure 2 – Démarche adoptée pour la conception de systèmes innovants (d'après Jannoyer, 2010)



3. La co-conception de nouveaux systèmes

La phase de co-conception de nouveaux systèmes (mise au point de l'usage des filets anti-insectes) a été répartie entre les différents partenaires du projet. Ainsi la définition scientifique de la technique a été dévolue à un institut de recherche (INRAB, Institut national des recherches agricoles du Bénin) tandis que dans le même temps l'ONG Apreteetra (Association des personnes rénovatrices des techniques traditionnelles) a pris en charge la pré-vulgarisation auprès des producteurs. La coordination locale du projet a organisé des échanges entre les partenaires pour une mise en cohésion des résultats.

L'élaboration de prototypes de filets et de pratiques associées a été réalisée en station avant que les meilleurs d'entre eux soient testés en milieu paysan. Au cours du projet BioNetAgro, des améliorations ont été apportées sur le choix de la maille (plus fine), mais également sur les modes d'utilisation (fréquence d'ouverture) et sur le renforcement de la lutte physique (imprégnation des fibres avec un produit répulsif).

Les expérimentations ont aussi permis de mesurer les modifications induites sur le microclimat autour des plantes et d'identifier les contraintes sur les autres pratiques de l'itinéraire cultural (irrigation, fertilisation, gestion de l'enherbement).



Les expérimentations ont été conduites sur station et chez des producteurs

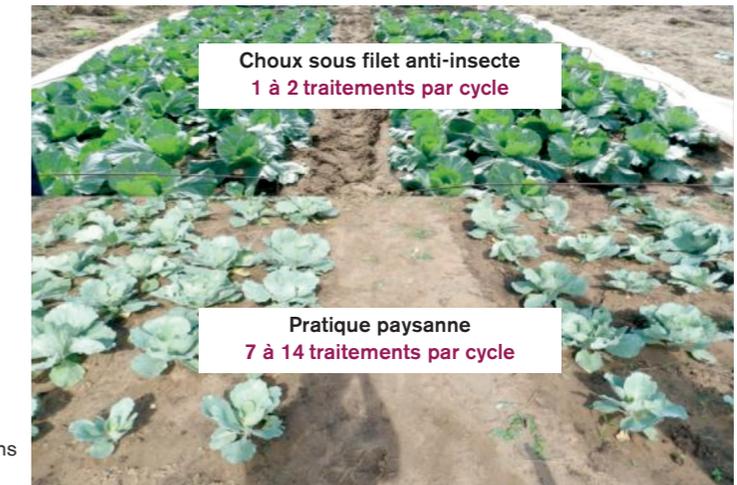
La pré-vulgarisation en milieu paysan a permis de comparer l'efficacité des filets avec la pratique paysanne basée sur les pesticides. Elle a aussi permis de connaître l'avis des producteurs sur l'intégration de la technique dans leur système de production. La nature des structures des abris a ainsi été adaptée : les fers à béton initiaux ont été remplacés par des bois, des nervures de feuilles ou du raphia.

4. L'évaluation multicritère réalisée par chacun des partenaires du projet

Chaque expérimentation en station ou démonstration en milieu paysan a permis de mesurer l'efficacité de chaque prototype mais aussi ses contraintes qui conduisaient à des améliorations successives. Le volet socio-économique du projet dirigé par l'Université d'Abomey-Calavi avait pour but d'élucider les contours de l'adoptabilité du filet anti-insectes par les agriculteurs. La démarche a consisté à distinguer les agriculteurs qui testaient les filets sur leurs parcelles et les agriculteurs uniquement observateurs. Les agriculteurs observateurs avaient pour mission d'observer les actions entreprises par ceux qui testaient les filets. Les maraîchers appartenant aux réseaux de diffusion (conducteurs des essais et observateurs) ont constitué la base de sondage.

Dans les pratiques agro-pastorales, l'utilisation du filet n'a aucun point d'ancrage. De plus, les producteurs n'étaient pas impliqués dans la conception de la technologie. Cependant, ils sont intimement liés à la phase d'adaptation. On constate une rupture avec les démarches originales de *top-down* étant entendu que le producteur est libre de l'utiliser ou de ne pas l'utiliser. Le filet se situe donc dans une démarche intermédiaire entre le *top-down* et la participation basée sur la co-conception.

La perception de la performance, de la complexité d'usage et de l'influence sociale détermine l'intention d'utilisation du filet. Les trois variables (performance, complexité et influence sociale) ont été croisées par le genre (féminin/masculin) et l'expérience. L'intention d'utilisation et les conditions de facilitation (appuis) expliquent l'intensité d'utilisation sous forme de motivation plus ou moins forte en faveur de la technologie.



L'usage des filets anti-insectes réduit le nombre d'applications d'insecticides.

Références citées

- DE BON, H., PARROT L., MOUSTIER P. 2009. "Sustainable urban agriculture in developing countries: A review." *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 21-32.
- DE BON, H., HUAT J., PARROT L., SINZOGAN A., MARTIN T., VAYSSIÈRES J.F., MALÉZIEUX E. 2014. "Pesticide risks from fruit and vegetable pest management by small-farmers in sub-Saharan Africa. A review." *Agronomy for Sustainable Development*. Sous presse.
- HOUNDETE T. A., KETOH G. K., HEMA O. S. A., BREVAULT T., GLITHO I. A., MARTIN T. 2010. "Insecticide resistance in field populations of Bemisia tabaci (Hemiptera: Aleyrodidae) in West Africa." *Pest Management Science*, 66 (11) : 1181-1185.
- JANNOYER M. 2010. « Évaluation de la performance des systèmes horticoles : quels outils ? » Séminaire d'unité HortSys, Faveyroles, 28 juin-2 juillet 2010.
- MARTIN T., ASSOGBA-KOMLAN F., HOUNDETE T., HOUGARD J. M., CHANDRE F. 2006. "Efficacy of mosquito netting for sustainable small holders' cabbage production in Africa." *Journal of Economic Entomology*, 99 (2) : 450-454.
- MARTIN T., PALIX R., KAMAL A., DELETRE E., BONAFOS R., SIMON S., NGOUAJO M. 2013. "A Repellent Net as a New Technology to Protect Cabbage Crops." *Journal of Economic Entomology*, 106 (4) : 1699-1706.

Co-conception, mise en œuvre et évaluation de systèmes de cultures maraîchers écologiquement innovants à La Réunion

Jean-Philippe Deguine

Introduction p. 58

État des lieux et conception de nouveaux systèmes de cultures p. 60

Mise en œuvre des systèmes de cultures en milieu producteur p. 63

Résultats scientifiques, techniques,
écologiques et socio-économiques p. 65

Leçons et perspectives p. 69

Références citées p. 70

Introduction

À la fin des années 2000, à La Réunion, malgré l'utilisation systématique et massive d'insecticides chimiques, les mouches des légumes causent d'importants dégâts sur les cultures de cucurbitacées, pouvant aller jusqu'à 100 % de pertes de production.

Devant ce constat, un projet pionnier de recherche-développement appelé GAMOUR (Gestion agro-écologique des mouches des légumes à La Réunion) a été co-conçu avec la finalité de résoudre ce problème et de contribuer au développement d'une agriculture durable, productive et saine à La Réunion. Ce projet s'est appuyé sur les principes de la protection agro-écologique des cultures (PAEC), décrite par Deguine *et al.* (2008).

Quelques caractéristiques de la protection agro-écologique des cultures

Enjeu premier — Durabilité écologique des agro-écosystèmes.

Méthodes — Ordre : cinq étapes (prévention en premier, chimie en dernier si nécessaire), trois piliers (prophylaxie, lutte biologique de conservation, gestion des habitats).

Changement d'échelles — Espace (terroir, village, cirque), temps (pas sur un cycle de cultures, mais sur plusieurs mois ou années), gestion (concertée).

Enjeux méthodologiques — Prise d'information locale, prise de décision élargie, recherche cognitive + intégrative, tests avec et par les agriculteurs (en milieu producteur).

Échanges dans la co-conception — Sensibilisation, adhésion, discussion, adaptation préalable (agriculteurs, partenaires).

Ce chapitre présente l'expérience collective qui s'est déroulée, de 2009 à 2011, dans le cadre de ce projet. Les partenaires réunionnais de la recherche, de l'expérimentation, de la formation et du développement agricoles (ARMEFLHOR, Chambre d'agriculture de La Réunion, Cirad, FARRE Réunion, FDGDON, GAB, BSA, IUT Saint-Pierre, DAAF, Takamaka Industries, VIVEA, etc.) se sont rassemblés pour co-concevoir, avec les producteurs et leurs organisations professionnelles, des systèmes de culture maraîchers innovants, écologiquement intensifs et durables, et économiquement performants. Les autres acteurs majeurs de cette expérience collective sont évidemment les agriculteurs (une trentaine) qui se sont impliqués dans la conception, la mise en œuvre sur le terrain et l'évaluation écologique et socio-économique des pratiques innovantes.

Le présent chapitre ne s'attache pas aux mécanismes ou aux concepts de la protection agro-écologique des cultures, largement détaillés dans d'autres écrits. Il met l'accent sur la prise en compte des interactions (entre acteurs, entre disciplines scientifiques, entre approches agronomiques, entre objectifs, etc.), de la complexité (du milieu agricole hétérogène, des acteurs rencontrés) et des expériences précédentes ou étrangères. En particulier, le caractère novateur de la démarche du projet a été particulièrement fédérateur. Aucune tentative n'avait été lancée auparavant en milieu producteur, en mettant en avant les principes agro-écologiques et en remettant en cause (et en les plaçant en dernier ressort) les pratiques agrochimiques curatives, systématiquement utilisées depuis plusieurs décennies. Les agriculteurs pilotes participant au projet, souvent confrontés à des impasses socio-économiques, se sont montrés particulièrement intéressés et motivés par la tentative d'une voie nouvelle appliquée sur le terrain : la voie agro-écologique.

Nous mettrons aussi l'accent sur des regards croisés entre les aspects relatifs à la conception des systèmes de cultures, aux connaissances bioécologiques, à la mise au point des techniques et aux performances écologiques et socio-économiques. Le projet GAMOUR a également pris en compte les spécificités du milieu tropical et insulaire, particulièrement favorables au développement des ravageurs comme les mouches des légumes.

État des lieux et conception de nouveaux systèmes de cultures

Malgré certaines études antérieures (Vayssières, 1999), en 2008, lors du démarrage du plan ECOPHYTO-DOM 2018, les mouches des légumes — trois espèces de *Dacinae* (*Tephritidae*), *Bactrocera cucurbitae* (Coquillet), *Dacus* (*Didacus*) *ciliatus* Loew et *Dacus demmerezi* (Bezzi) — sont considérées comme les ravageurs numéro un de l'agriculture réunionnaise. Les dégâts engendrés se traduisent par d'importantes pertes de production au champ, atteignant souvent 100 %, et par des réductions d'année en année des surfaces emblavées en cucurbitacées (courgette, citrouille, concombre, chou chou, etc.).

Dans le domaine de la protection des cultures, le plan national ECOPHYTO 2018, faisant suite au Grenelle de l'environnement lancé en 2007, prévoyait d'ici 2018 une réduction de 50 % des pesticides utilisés et le développement de l'agriculture biologique. Le projet GAMOUR répondait, lors de sa conception, à ces enjeux, même si son objectif premier était de proposer des pratiques durables sur le plan écologique, tout en restant performantes sur le plan économique.

La conception d'un tel projet nécessitait un ancrage des acteurs dans la complexité des enjeux, la diversité des situations et les interactions (techniques, écologiques, sociales, sanitaires et économiques) : systèmes de cultures (cucurbitacées), situations pédoclimatiques ; acteurs ou domaines (recherche → développement) ; objectifs, certains communs (résoudre le problème de mouches), d'autres spécifiques aux différents acteurs ; domaines scientifiques.

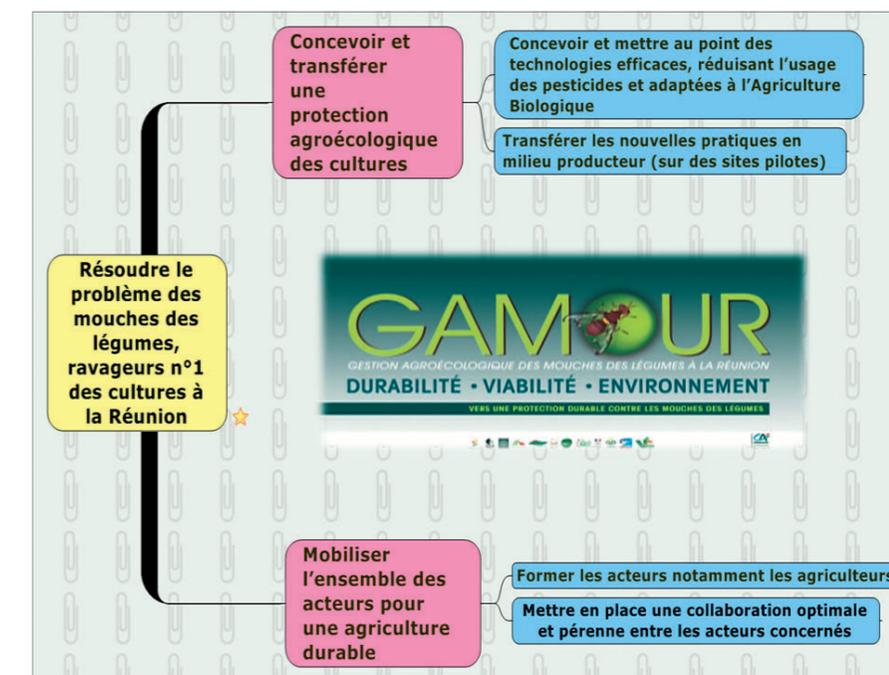
Les éléments de la conception des systèmes de cultures innovants ont reposé sur :

- la littérature scientifique et technique,
- les dires d'experts,
- les expériences des agriculteurs,
- les expériences étrangères (Hawaii),
- les échanges scientifiques.

Ils se sont aussi appuyés fortement sur la sensibilisation des acteurs publics (décideurs) et sur l'implication des agriculteurs pilotes et volontaires. Des études préliminaires ont eu lieu en amont du projet GAMOUR : étude des zones d'expérimentation, étude de la perception et des attentes des acteurs (par exemple étude sur 129 personnes interrogées de mi-décembre 2008 à début janvier 2009 à l'Entre-Deux : agriculteurs, habitants, touristes).

Le projet a ensuite été rédigé, soumis à un appel à projets (Casdar 2009) et accepté. Les éléments de conception du projet ont clairement précisé : objectif général et objectifs spécifiques (figure ci-dessous) ; choix des indicateurs de suivi et d'évaluation (techniques, environnementaux, économiques, écologiques, sanitaires) ; calendrier sur trois ans ; méthodologie (encadré page suivante).

Finalité et objectifs du projet GAMOUR



Méthodologie du projet GAMOUR

Bio-écologie, techniques de protection

- Essais et tests en milieu producteur, en cages et en laboratoire,
- réseau de piégeage.

Socio-économie

- Suivi technico-économique,
- une vingtaine de comparaisons,
- enquête de satisfaction.

Itérations dans l'innovation

- Avec les acteurs (agriculteurs, privés et particuliers, organisation de producteurs...)

Des rencontres et des points d'étapes

- Très nombreux : réunions par action, réunions trimestrielles, visites de terrain, comités de pilotage, séminaire final, etc.

Sur le terrain, les méthodes de l'étude ont consisté en : (i) des expérimentations en plein champ d'efficacité des techniques ; (ii) un suivi des populations des mouches dans les sites ; (iii) un suivi technique des parcelles et des exploitations ; (iv) une enquête de perception auprès des agriculteurs concernés.

Mise en œuvre des systèmes de cultures en milieu producteur

Carte d'identité du projet GAMOUR

Titre — Conception, mise au point et transfert en milieu producteur de technologies innovantes dans un cadre participatif. Application à l'agriculture biologique.

Organisme porteur — Chambre d'agriculture de La Réunion.

Chef de projet — Jean-Philippe Deguine (Cirad).

Coordinateur technique — Pascal Rousse (Chambre d'agriculture).

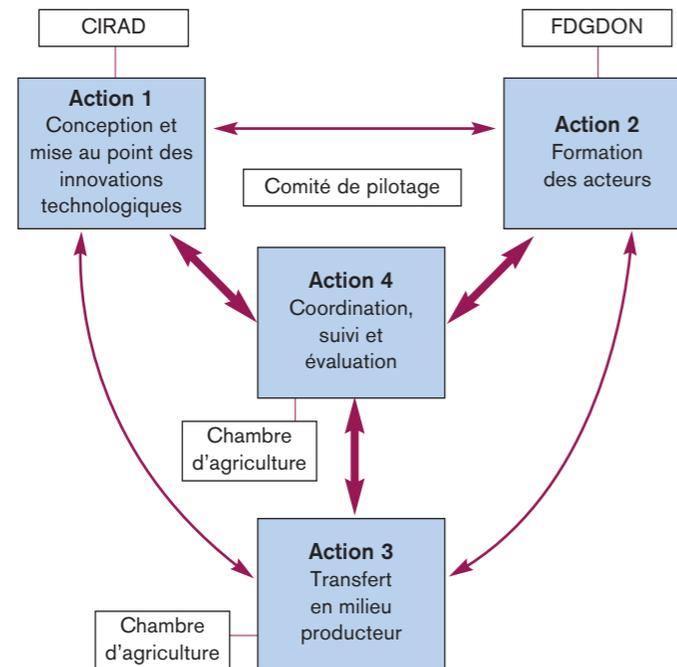
Financement — Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (Casdar), État, Conseil régional, Conseil général, Union européenne.

Durée — Trois ans (2009-2011).

Montant — 472 k€ (Casdar), 942 k€ (autres concours financiers).

La mise en œuvre du projet s'est appuyée sur une organisation en actions et une coordination technique adaptées au contexte (figure ci-dessous).

Organisation en actions et coordination du projet GAMOUR



Le choix des sites pilotes, reposant sur des critères précis (motivation des agriculteurs, caractéristiques des sites), a permis de retenir trois villages (environ cinquante hectares) rassemblant une trentaine d'agriculteurs et cinq exploitations certifiées en agriculture biologique (AB). Sur chaque site, les parcelles ont été cartographiées.

Résultats scientifiques, techniques, écologiques et socio-économiques

Biologie et écologie des mouches des légumes

De nombreuses connaissances sur la biologie et l'écologie des trois espèces de mouches des légumes ont été acquises au cours du projet GAMOUR. Ainsi, les activités circadiennes de chacune des espèces de mouches ont été décrites. Par ailleurs, les caractéristiques des mouches (fluctuations saisonnières, abondance relative, *sex ratio*) ont été étudiées et se révèlent très variables en fonction des facteurs biotiques et abiotiques. Pour acquérir ces connaissances, une méthode nouvelle d'observation des adultes *in situ* a été mise au point.

Systèmes de cultures et techniques agro-écologiques de gestion des mouches

En s'inspirant de méthodes existantes à Hawaii et de l'approche agro-écologique en protection des cultures, plusieurs techniques ont été mises au point et se sont révélées efficaces en milieu producteur, dont : (I) la prophylaxie en utilisant un dispositif appelé augmentorium (encadré page suivante) ; (II) l'implantation de bordures de maïs autour des parcelles permettant de piéger les mouches ; (III) l'utilisation d'un appât adulticide (Syneïs-appât) permettant de supprimer les mouches sur les bordures. D'autres techniques (piégeage sexuel sans insecticide, couverts végétaux) ont été testées et sont encore en cours de développement.

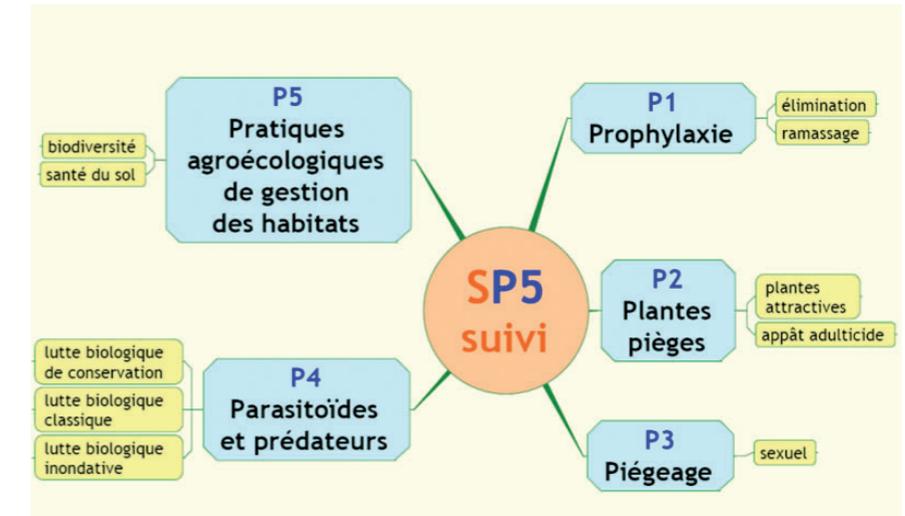
Augmentorium

Il s'agit d'une structure ressemblant à une tente dans laquelle on dépose régulièrement les fruits piqués, infestés ramassés au champ. L'augmentorium empêche ainsi une ré-infestation de l'agro-écosystème par une nouvelle génération de mouches qui émergent dans l'augmentorium. Par ailleurs, un filet à la maille adaptée, placé sur le toit de l'augmentorium, permet de relâcher dans la nature les parasitoïdes des mouches

Transfert en milieu producteur d'un paquet technique, supprimant tout insecticide sur la culture de cucurbitacées, compatible avec l'agriculture biologique

Le paquet technique, appelé SP5 (figure page suivante en haut), intégrant ces différentes techniques, a été testé dans les sites pilotes du projet qui s'inscrit parfaitement dans la dynamique du plan ECOPHYTO. L'évaluation socio-économique se révèle très satisfaisante : suppression de l'application d'insecticides sur les cultures de cucurbitacées ; économies monétaires substantielles ; réduction des temps de travaux de protection phytosanitaire (figure page suivante en bas).

Paquet technique SP5 testé et transféré en milieu producteur



Suppression des insecticides appliqués sur les cultures de cucurbitacées avec le paquet technique SP5

Protection	Chimique	Agro-écologique
Nombre de traitements par semaine	1,5	2*
Produit commercial	Cyperfor-Danadim	Syneïs-appât
Matières actives	Cyperméthrine-diméthoate	Spinosad
Dose de m.a. par semaine	45 + 450 g/ha	0,008 g/ha
Localisation du traitement	Sur tous les plants cultivés	Par tache sur des plantes refuges
Temps pour traiter un hectare par semaine	4,5 heures	1 heure

* Peut être réduit à une application par semaine.

Appropriation par les agriculteurs des nouvelles techniques

Le bilan de l'appropriation des agriculteurs a été réalisé à partir d'entretiens menés auprès de l'ensemble des maraîchers des trois sites pilotes. Les techniques nouvelles qui ont été proposées confirment en milieu producteur l'efficacité qui avait été montrée en conditions contrôlées et les agriculteurs les ont rapidement adoptées. En particulier, l'utilisation de bordures de maïs (en tant que plante piège) autour des parcelles, permet de concentrer à plus de 95 % les populations de mouches. Celles-ci peuvent être alors efficacement gérées avec des appâts adulticides. La technique de piégeage sexuel de masse (sans insecticide) se révèle efficace pour les mâles de deux des trois espèces de *Tephritidae* concernées. Les agriculteurs se sont rapidement appropriés ces techniques nouvelles. Par exemple, la prophylaxie est très appréciée et régulièrement pratiquée au moyen d'un augmentorium.

Le bilan de l'appropriation des agriculteurs a été réalisé à partir d'entretiens menés auprès de l'ensemble des maraîchers des trois sites pilotes du projet GAMOUR (Busnel et Augusseau, 2011). Les résultats mettent en évidence :

- (i) une satisfaction globale des agriculteurs à la fois sur l'efficacité de la stratégie et la facilité de mise en œuvre des techniques proposées ;
- (ii) un bilan plus mitigé de l'appropriation de la stratégie de lutte qui vise à passer d'une logique curative à une logique de contrôle de la pression des mouches.

Information et diffusion des savoirs

Le projet a été à l'origine d'une production scientifique et technique importante (publications, communications dans des congrès, posters) ; des sessions de formation ont été données ; de nombreux étudiants ont été encadrés ; des enseignements (du lycée agricole au niveau master 2) ont été dispensés ; un module d'enseignement universitaire à distance, dont une importante partie est consacrée à GAMOUR, a été financé par l'UVED (Université virtuelle environnement et développement durable) ; des fiches techniques, des DVD et des livrets de formation ont été conçus et distribués ; un séminaire final du projet a été organisé et a donné lieu à des actes.

Retombées chez les acteurs et amélioration de l'image de l'agriculture réunionnaise

- Des agriculteurs aux compétences améliorées, ayant acquis de nouvelles connaissances et aptes à appliquer un programme original de protection des cultures.
- Un partenariat efficace et durable.
- Apparition de produits nouveaux sur le marché de la protection des cultures.
- Amélioration de l'image de l'agriculture réunionnaise.
- Contribution au développement de l'agriculture biologique.
- Une distinction nationale pour GAMOUR.
- Des leçons génériques pour d'autres projets de recherche-développement.

Leçons et perspectives

Des leçons pour d'autres projets agro-écologiques

Dans la dynamique du plan ECOPHYTO, GAMOUR a contribué à proposer au monde agricole réunionnais et national une protection agro-écologique des cultures efficace, moins chère et respectueuse de l'environnement et de la santé.

Maintenant que les techniques de protection agro-écologique se sont montrées efficaces et transférables, l'après-projet consiste à envisager la vulgarisation de la protection agro-écologique à l'ensemble des producteurs maraîchers de l'île. La dynamique agro-écologique engagée à La Réunion est aussi appelée à être adaptée à d'autres productions horticoles, comme la tomate, les agrumes ou la mangue. GAMOUR a permis d'élaborer une grille d'indicateurs socio-économiques et environnementaux pour le pilotage d'expériences ultérieures.

Déjà, des demandes pour d'autres initiatives sont affichées. C'est notamment le cas du projet Biophyto, visant à produire de la mangue sans insecticide à La Réunion.

Ce projet (sur financement CASDAR) a été lancé en 2012 et surfe sur la vague agro-écologique de l'agriculture réunionnaise.

Références citées

■ BUSNEL J., AUGUSSEAU X. 2011. *Analyse de l'évaluation du projet GAMOUR et de l'appropriation des pratiques par les maraîchers des zones pilotes*. Stage de césure. AgroParisTech, Paris, France.

■ DEGUINE J.-P., FERRON P., RUSSELL D. 2008. *Protection des cultures : de l'agrochimie à l'agroécologie*. Éditions Quae, Versailles.

■ VAYSSIÈRES J.-F. 1999. *Les Relations plantes-insectes chez les Dacini (Diptera-Tephritidae) ravageurs des Cucurbitaceae à La Réunion*. Thèse de Doctorat. Université Paris XII, France.

Concevoir et évaluer des systèmes de cultures écologiquement innovants : regards croisés horticulture-grandes cultures

Muriel Valantin-Morison

1. Éléments clés de la démarche de conception innovante en grandes cultures p. 72

2. Les nouvelles questions posées par les systèmes de culture horticoles p. 78

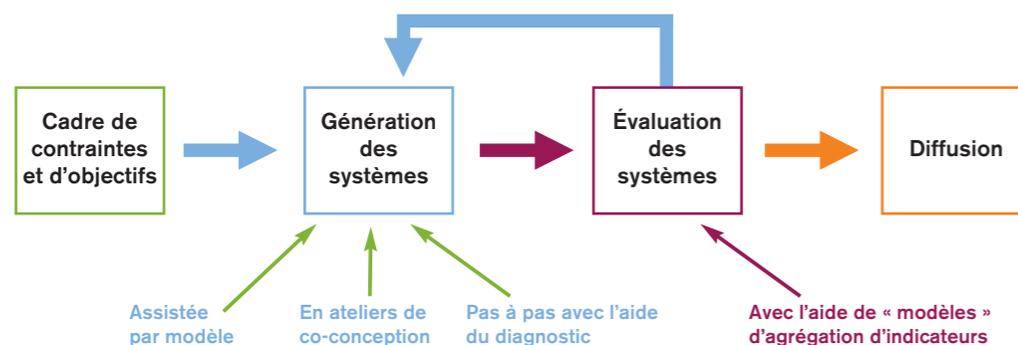
Références citées p. 84

1. Éléments clés de la démarche de conception innovante en grandes cultures

1.1. Concevoir de plusieurs manières mais toujours de pair avec l'évaluation

Concevoir c'est imaginer à la fois les objectifs et les moyens d'y parvenir et d'évaluer le chemin parcouru. Mais quelle que soit la manière, la conception est indissociable de l'évaluation et pour certains, l'évaluation fait partie de la conception, car l'ensemble forme un processus itératif qui fait discuter des phases de construction de systèmes de culture (SdC) et des phases d'évaluation (*figure 1*). La démarche générale est donc rythmée par une phase d'identification des objectifs, des contraintes et des enjeux, puis une phase de génération de systèmes, qui peut être réalisée de plusieurs manières et qui dialogue avec une phase d'évaluation. Ce n'est qu'à la fin qu'intervient la phase de diffusion, plus ou moins facilitée selon la manière dont les acteurs extérieurs ont été impliqués.

Figure 1 – Schéma du processus de conception-évaluation des systèmes de cultures innovants (D'après Ripoché, 2009.)



La multiplicité des démarches de conception en agriculture fait l'objet d'une littérature florissante depuis quelques années (Meynard et al., 2006 ; Meynard *et al.*, 2012), et s'est étoffée grâce au recours des travaux de sciences de gestion sur la conception innovante repris par Tchamitchian *et al.*, p. 89 dans ce livre.

a. La conception innovante pas à pas en grandes cultures

Cette démarche consiste à améliorer progressivement les systèmes existants, pour les adapter à de nouveaux objectifs. Le travail de conception débute par un diagnostic qui cherche à comprendre en quoi les systèmes actuels satisfont aux anciens et aux nouveaux objectifs. Sur la base de ce diagnostic, des évolutions des systèmes de culture sont imaginées et mises en œuvre. Puis un nouveau diagnostic est pratiqué, de nouvelles évolutions des SdC s'ensuivent, engageant ainsi une véritable spirale d'amélioration continue. Cette démarche est parfois ponctuée par l'établissement d'un schéma de fonctionnement de l'agro-système, permettant (1) de partager un socle commun d'expertise pour le collectif d'agriculteurs et de conseillers qui participent aux tests expérimentaux et (2) d'aider à la conception de solutions nouvelles (par exemple, sur le colza biologique, Valantin-Morison et Meynard, 2012). Cette démarche a été très bien illustrée par un groupe d'agriculteurs de grandes cultures de Picardie encadré par AgroTransfert Picardie (Mischler *et al.*, 2009). Selon les participants, les points forts relevés sont : l'accompagnement par les conseillers, pour le diagnostic initial et les suivants qui visent à évaluer les effets des pratiques nouvelles ; la co-construction des plans d'action, qui a permis un dialogue, indispensable pour assurer le changement ; la mise en œuvre des innovations par les agriculteurs à l'aide de tests sur des surfaces réduites pour acquérir une expérience et de nouveaux repères visuels.

Néanmoins, cette démarche est finalement assez peu explorée dans d'autres systèmes que les grandes cultures ; on trouve en particulier peu d'exemples en systèmes horticoles. La raison probable est que le diagnostic agronomique a été plusieurs fois mobilisé en grandes cultures dans l'histoire de l'agronomie systémique (Doré *et al.*, 2008).

b. La conception *de novo* en atelier de conception ou prototypage en grandes cultures

En grandes cultures, alors que le recours aux modèles a été assez longtemps employé dans la démarche de conception *de novo* (Rossing *et al.*, 1997 ; Dogliotti *et al.*, 2005), on assiste depuis plusieurs années à l'émergence très nette de la génération de systèmes en atelier de conception.

- Initié par Vereijken (1997), le prototypage se découpe en quatre étapes : (1) identification des objectifs, contraintes et critères d'évaluation ; (2) conception d'un ou plusieurs prototypes, et évaluation *ex ante* ; (3) évaluation en station, et ajustement du prototype ; (4) développement, déploiement en parcelles agricoles.
- La génération des prototypes relève d'ateliers où les savoirs portés par les différents protagonistes (agriculteurs, conseillers, chercheurs, gestionnaire de bassins de production) sont explicités, confrontés pour obtenir un consensus partagé.
- L'enjeu ici est de gérer un atelier multi-acteurs pour générer des SdC complexes, le plus souvent en rupture. C'est pourquoi, la définition d'un objectif général ambitieux en terme de résultat et simple à évaluer est essentielle (par exemple, réduire les produits phytosanitaires de 50 % ou réduire le recours à l'énergie fossile). Même si l'ambition fixée au départ peut paraître utopique, cette absence de pression de l'application immédiate permet d'explorer plusieurs systèmes différents très en rupture par rapport aux systèmes actuels. L'évaluation multicritère ultérieure permet d'estimer les performances de durabilité globale du SdC innovant et de vérifier l'absence de « dégâts collatéraux ».
- L'autre défi de ces ateliers est une participation active de plusieurs types d'acteurs, d'horizons différents dans le paysage agricole.
- Cette démarche a été très bien illustrée et même améliorée par un Réseau mixte technologique systèmes de cultures innovant (RMT SdCi), démarré en 2007. Les ateliers du RMT SdCi regroupent des acteurs de la recherche, du développement et de l'enseignement agronomique et agricole : INRA, instituts techniques, chambres d'agriculture, Agrotransfert ressources et territoires en Picardie, Association pour la relance agronomique en Alsace, lycées agricoles. Finalement, à l'issue du RMT, de nombreuses productions ont vu le jour : production de méthodes (ateliers de

conception) et d'outils (guide *Stephy* de conception, plateforme collaborative AgroPeps), impliquant les utilisateurs dans la conception ; diffusion et mobilisation partagée d'outils mis au point par la recherche (MASC, CRITER) ; formation de plus de quatre-vingts formateurs, trois cents étudiants, trois cents agriculteurs, et mille conseillers à la démarche de conception de systèmes de culture innovants ; ouvrages et colloques (Reau *et al.*, 2012 ; Deytieux *et al.*, 2012).

1.2. Évaluer les objectifs intermédiaires

Évaluer un SdC se réalise à plusieurs niveaux (Reau et Doré, 2008) : on parle d'évaluation agronomique quand on cherche à vérifier si les objectifs agronomiques sont atteints. Par exemple, on peut proposer de réduire le recours à des produits phytosanitaires en mettant en place des règles de décision basées sur des seuils. On évaluera alors la règle de décision en observant les dégâts ou l'incidence du bioagresseur sur la culture. On peut également proposer de combiner plusieurs pratiques culturales pour défavoriser un bioagresseur et ainsi réduire la pression phytosanitaire. On évalue alors la « stratégie » agronomique globale en vérifiant si l'incidence du bioagresseur a été affectée ou pas. Ces évaluations sont très précieuses quand on place les essais systèmes au champ. Par cette analyse agronomique fine, on évalue la cohérence agronomique du SdC. Cette analyse peut être faite à l'échelle de la succession ou sur des tests d'itinéraires techniques.

1.3. Évaluer les performances globales avec plusieurs critères

L'évaluation des performances globales consiste en la quantification puis l'agrégation de plusieurs critères de réussite des SdC : performances agronomiques (exemples de critères : rendement, qualité), performances économiques (revenus, efficience des intrants, charges...), performances environnementales (fréquence de traitement, risque de pollution des eaux, de l'air...), sociales (conflit de chantier, nombre de salariés...). L'évaluation est très couramment analysée soit en *ex ante* ou *a priori* (sur des systèmes de culture fictifs, avant leur mise en œuvre *in situ*) soit en *ex post* (après la phase de test au champ). L'ensemble de ces critères doivent être agrégés dans des outils d'évaluation multicritère, qui sont de plus en plus nombreux

(Criter-Masc, DexiIPM... ; Craheix *et al.*, 2012 ; Pelzer *et al.*, 2012). Ces outils sont essentiellement des arbres d'attributs qui représentent la décomposition d'un problème décisionnel, ici la durabilité des systèmes de culture. Ils calculent des critères d'évaluation, ou des attributs primaires, soit à partir des pratiques agricoles, soit à partir des conditions pédoclimatiques. Ces critères sont ensuite agrégés par des fonctions d'utilité, ou règles d'agrégation, qui reflètent le poids respectifs de chaque critère, ce qui permet de remonter l'arbre et qualifier la durabilité des systèmes.

1.4. Passer par les expérimentations systèmes

La démarche d'expérimentation « SdC » a bénéficié des apports méthodologiques des travaux de conception et de test d'itinéraires techniques. Le postulat de ces essais systèmes, lié à la cohérence des techniques entre elles, est que l'on ne peut pas étudier les effets d'une technique indépendamment des autres techniques, qu'un même objectif de production peut être atteint de différentes manières et que dès que l'on change d'objectif de production, il faut souvent modifier plusieurs techniques.

Cette démarche expérimentale, dont l'objectif général consiste à tester un ensemble cohérent de techniques, est proche de l'approche de prototypage ; elle a été formalisée selon cinq grandes étapes (Debaeke *et al.*, 2009 ; Alaphilippe, Simon et Plénet, p. 115 dans ce livre). Ces démarches expérimentales sont pratiquées en grandes cultures depuis plus de quinze ans et l'on peut maintenant parler d'essais systèmes, mis en réseau, dont les objectifs sont élargis : la réflexion de méthodes pour bien adapter les SdC à d'autres contextes, le test de la robustesse dans plusieurs milieux pédoclimatiques de jeux de règles de décision, l'échange de méthodes et la mutualisation d'expériences, d'outils et de résultats de performances (Deytieux *et al.*, 2012).

1.5. Les allers-retours avec les connaissances nécessaires à la conception

Dans un travail de conception-évaluation, la place de la connaissance est essentielle. Elle intervient à la fois dans l'analyse des résultats du diagnostic, dans l'élaboration d'un schéma de fonctionnement et dans la phase de génération de SdC. Le plus souvent les résultats des expérimentations systèmes en parcelles agricoles ou en stations expérimentales affinent le schéma de fonctionnement, posent de nouvelles questions. Tout l'enjeu est (1) d'identifier les éléments de connaissances utiles à l'objectif sans aller trop loin, et (2) de rendre cette connaissance accessible.

Par exemple, dans le RMT SdC innovant, plusieurs outils ont été conçus pour aider à la génération de système et à l'expérimentation d'essais systèmes : (1) un inventaire des techniques disponibles pour la conception de systèmes de culture innovants (outil web collaboratif Agro-PEPS — www.systemesdecultureinnovants.org), (2) un recueil de seuils d'intervention rassemblant les références mobilisables pour les décisions d'interventions techniques et des grilles de notation servant à la caractérisation des pressions biotiques nécessaire à la prise de décision, et (3) une fiche de description du SdC testé et du dispositif expérimental associé.

1.6. Les questions sur la conception-évaluation vers lesquelles les grandes cultures se tournent

Les travaux de conception sont nettement orientés vers la démarche de co-conception en atelier avec des acteurs diversifiés, pour accompagner le changement de modes de production.

1. La première question en collaboration avec des sciences de gestion, est liée au choix des acteurs dans ces ateliers de conception : certains auteurs suggèrent que l'association d'agriculteurs facilite l'appropriation des innovations.
2. La deuxième question, qui fait l'objet de collaborations avec les sciences humaines, est liée à l'accompagnement des transitions vers de nouvelles pratiques agricoles. Quelle formalisation des connaissances agronomiques pour l'action ? L'enjeu associé à cette question sur les connaissances actionnables est celle

« d'équiper » les acteurs (agriculteurs en particulier) pour mettre en œuvre des changements techniques, en analysant les complémentarités entre connaissances scientifiques génériques et savoirs locaux adaptés localement.

3. La dernière question émergente actuellement en grandes cultures est liée au changement d'échelle c'est-à-dire au passage de la parcelle vers un territoire ou vers une échelle plus globale. Comment co-concevoir des changements de pratiques dans des territoires à enjeux impliquant un ensemble d'acteurs. Les aires de bassin de captages, les parcs naturels constituent ainsi les objets privilégiés pour instruire ces questions. Dans le même ordre d'idée, les filières de production sont aussi interrogées pour identifier les voies de déverrouillage du système sociotechnique dans un territoire (par exemple l'insertion des légumineuses dans les systèmes de grandes cultures pose des questions à la filière de protéagineux).

2. Les nouvelles questions posées par les systèmes de culture horticoles

2.1. Les grandes différences entre cultures annuelles et horticoles

a. La diversité et la temporalité dans les processus

■ En systèmes assolés, la diversité végétale des espèces cultivées est peut-être plus importante en maraîchage qu'en grandes cultures. L'enchaînement des cycles est également plus rapide dans une année pour le maraîchage. Mais les deux systèmes partagent la complexité des effets suivants, précédents, des cycles culturels et la complexité du « pluri-bioagresseurs ».

■ En arboriculture, la pérennité de la culture est la différence majeure avec les grandes cultures et induit de nombreux écarts de points de vue (bioagresseurs plus restreints, milieu moins perturbé). Mais en grande culture l'arrivée de cultures énergétiques, liées à un nouveau marché industriel, permet d'expérimenter les conséquences à long terme de culture semi-pérennes. Cette très nette différence d'avec les grandes cultures peut suggérer qu'en réduisant le recours aux intrants, un équilibre d'une régulation naturelle serait plus rapide à atteindre en arboriculture, du fait de la faible perturbation du milieu d'année en année.

■ En grandes cultures, l'agro-foresterie rencontre un très récent succès. Finalement, en systèmes horticoles, deux types de cultures sont concernés, des pérennes et des annuelles. On peut imaginer, à l'instar de ce qui est testé dans plusieurs pays en Afrique, au Canada ou en Chine (Garrett *et al.*, 2009), de concevoir des systèmes très en rupture, « maraîchers / vergers ».

b. Les milieux et le contexte de production

Grandes cultures	Maraîchage – Arboriculture
• Surface souvent grande (+ 1 ha)	• Petite Surface des parcelles => Gestion des bordures facilitée
• Pas d'équivalent	• Milieux parfois fermés => Lutte biologique facilitée
• La pratique de cultures intermédiaires a les mêmes conséquences	• Retour très rapide des plantes en maraîchage
• Risque de contaminations post-récolte (insectes et mycotoxines)	• Exigence sur le produit commercialisé : le diktat du zéro défaut
• Marché dominé par les céréales, colza, tournesol, pois ; quelques orphelins : lin, légumineuses, crucifères fourragères...	• Espèces cultivées parfois délaissées par firmes phyto et de sélection => Impasses chimiques, moteurs de changements
• Diversification vers produits non alimentaires	• Pas d'équivalent ?

c. Les moyens mobilisés

Les précédentes différences d'objets biologiques, de milieu et de contexte induisent des différences de moyens majeures.

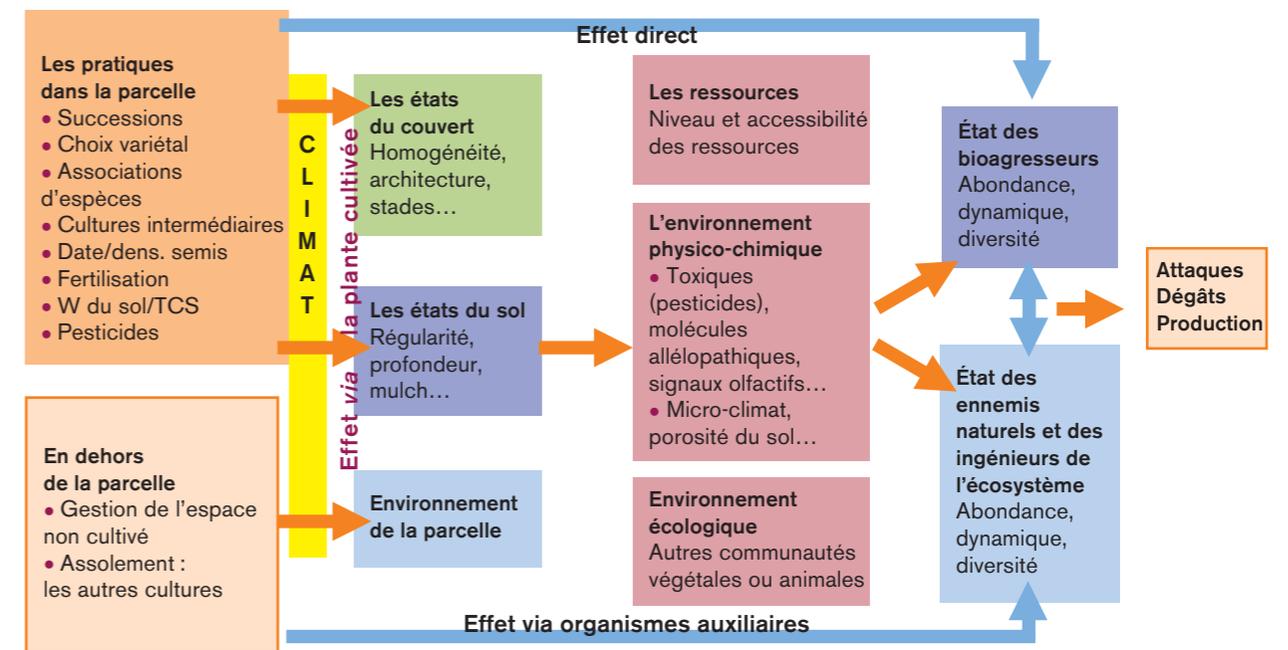
Grandes cultures	Maraîchage – Arboriculture
<ul style="list-style-type: none"> • Filet de protection => Modification du milieu 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'équivalent
<ul style="list-style-type: none"> • Confusion sexuelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'équivalent
<ul style="list-style-type: none"> • Taille des arbres ou des légumes 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'équivalent
<ul style="list-style-type: none"> • Solarisation et film sur le sol 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'équivalent
<ul style="list-style-type: none"> • En arboriculture, travail du sol impossible, mais gestion de l'enherbement possible aux pieds des cultures 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversité du travail du sol
<ul style="list-style-type: none"> • En arboriculture, plus délicat, mais en maraîchage encore sous-utilisé 	<ul style="list-style-type: none"> • Associations variétales et d'espèces facilitées
<ul style="list-style-type: none"> • Possible en maraîchage mais pas en arboriculture 	<ul style="list-style-type: none"> • Successions culturales

2.2. Derrière ces différences, un cadre d'analyse que l'on peut partager

Malgré ces différences, les processus d'actions des moyens mobilisés ou des milieux sur les organismes de l'agrosystème sont les mêmes (figure 2). Si l'on prend l'exemple de SdC qui visent la réduction du recours aux pesticides en mobilisant la protection intégrée, les pratiques culturales dans la parcelle ou la gestion des abords de parcelles ou l'assolement ont des effets directs ou indirects sur les bioagresseurs. Tout le jeu consiste à défavoriser le bioagresseur et favoriser les auxiliaires. Au travers du filtre du climat, les états du couvert, du milieu et de l'environnement de la parcelle sont modifiés, ce qui induit alors des modifications

d'accès aux ressources. Ces modifications entraînent des changements dans l'environnement physico-chimique et écologique des organismes de l'agrosystème. Or ceci est vrai quels que soient les moyens mobilisés et le contexte pédo-climatique. Ainsi, la confusion sexuelle induit des modifications de l'environnement physico-chimique (signaux olfactifs) des bioagresseurs, les filets de protection induisent une modification du micro-climat et des liens trophiques entre organismes auxiliaires et ravageurs, la taille modifie l'architecture de l'arbre, donc l'habitat pour les ravageurs et les auxiliaires, et ainsi de suite. Tout l'enjeu est alors d'avoir assez d'éléments de compréhension sur l'influence des moyens mobilisés (intensité, période, organismes visés, interaction entre organismes et avec d'autres pratiques) pour piloter de manière cohérente l'ensemble des moyens utiles pour atteindre l'objectif, ici de réduction des pesticides (figure 2).

Figure 2 : Illustration générale des effets combinés des pratiques agricoles sur les éléments de l'agro-système et les conséquences directes ou indirectes sur les bioagresseurs des cultures (Crédit : M. Valantin-Morison)



2.3. Comment ces deux systèmes interrogent-ils réciproquement les démarches de conception-évaluation de systèmes de cultures écologiquement innovants ?

a. Complexité des systèmes de culture

En grandes cultures, et plus encore en maraîchage, la diversification des espèces, souhaitée pour augmenter la résilience des systèmes, la multiplicité des bioagresseurs, plus présents du fait de la réduction du recours aux intrants, la rapidité de l'enchaînement des cycles culturels, induisent une complexification des systèmes. Cela se traduit par une difficulté à écrire, éprouver et mettre en œuvre des règles de décisions, et induit des conflits de chantiers à anticiper dans la phase de conception. Au final cela risque d'induire une surveillance accrue et des besoins en formation des exploitants et de leurs conseillers. Pour la recherche, cela pose des questions de représentation et de modélisation des systèmes complexes et des types de connaissances utiles à la conception et l'évaluation.

b. Connaissances disponibles dans les deux types de production pour aider à la conception

Les grandes cultures, tout particulièrement les céréales, ont bénéficié d'un effort d'analyse de longue date ce qui a permis des avancées en sélection variétale (variétés multi-résistantes), en écophysiologie et agronomie (par exemple courbe de dilution de l'azote). D'autres espèces de grandes cultures ont suivi (colza, maïs, pois), mais un certain nombre manque encore de connaissances pour permettre une diversification des rotations. En maraîchage, le challenge est encore plus grand, compte tenu du nombre de légumes à cultiver. On observe plus souvent en cultures légumières des espèces orphelines, qui n'ont plus bénéficié de la recherche en sélection variétale faute de marché suffisant. Pour ce qui concerne les bioagresseurs en cultures maraîchères et leur nuisibilité, les connaissances sur leur biologie sont partielles et inégales et cela pourrait nuire à la mise au point de systèmes à la fois écologiquement performants et économiquement viables.

c. Contraintes des systèmes et marges de manœuvre dans la conception

de systèmes de cultures écologiquement innovants

En grandes cultures, en dehors des contraintes de sécurité sanitaire (risque de contaminations post-récolte par des insectes ou des mycotoxines), les contraintes de qualité de la production, et de conservation sont moins importantes qu'en cultures légumières ou fruitières. Pour celles-ci, le zéro défaut et les besoins de conservation pour des marchés éloignés pèsent très lourds dans la conception de systèmes écologiquement innovants. Ainsi, en systèmes de production horticole, dans les ateliers de conception faisant appel à plusieurs acteurs, les objectifs ambitieux initiaux sont parfois difficiles à mener à terme, en raison de ces contraintes. Ceci pourrait amener les démarches de prototypage à élargir le périmètre d'action à l'ensemble de la filière sur des bassins de production identifiés ou pour des filières courtes.

Références citées

- CRAHEIX D., ANGEVIN F., BERGEZ J.-E., BOCKSTALLER C., COLOMB B., GUICHARD L., REAU R., DORÉ T. 2012. « MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. » *Innovations agronomiques*, 20 : 35-48.
- DEBAEKE P., MUNIER-JOLAIN N.M., BERTRAND M., GUICHARD L., NOLOT J.M., FALOYA V., SAULAS P. 2009. "Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems: methodology and case studies. A review." *Agronomy for Sustainable Development*, 29 : 73-86.
- DEYTIEUX V., NEMECEK T., KNUCHEL R.F., GAILLARD G., MUNIER-JOLAIN N.M. 2012. "Is Integrated Weed Management efficient for reducing environmental impacts of cropping systems? A case study based on life cycle assessment." *European Journal of Agronomy*, 36 : 55-65.
- DOGLIOTTI S., VAN ITTERSUM M.K., ROSSING W.A.H. 2005. "A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in south Uruguay." *Agricultural Systems*, 86 : 29-51.
- DORÉ T., CLERMONT-DAUPHIN C., CROZAT Y., DAVID C., JEUFFROY M.H., LOYCE C., MAKOWSKI D., MALÉZIEUX E., MEYNARD J.M., VALANTIN-MORISON M. 2008. "Methodological progress in on-farm regional agronomic diagnosis. A review." *Agronomy for Sustainable Development*, 28 (1) : 151-161.
- GARRETT, MAC GRAW AND WALTER. 2009. "Alley cropping practices". In 2nd edition, H.E. GARRETT (ed.) *North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice*. American Society of Agronomy, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711.
- MEYNARD J.-M., BENOIT DEDIEU B., (BRAM) BOS A.P. 2012. "Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices." In DARNHOFER I., GIBON D., DEDIEU B., eds, *Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic*. 2012, Springer, 407-432.
- MEYNARD J.-M., AGGERI F., COULON J.-N., HABIB R., TILLON J.-P. 2006. *Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants*. Rapport du groupe de travail. INRA, Paris.
- MISCHLER P., LHEUREUX S., DUMOULIN F., MENU P. SENE O., HOPQUINE J.-P., CARIOLLE M., REAU R., MUNIER-JOLAIN N., FALOYA V., BOIZARD H., MEYNARD J.-M. 2009. « Huit fermes de grande culture engagées en production intégrée réduisent les pesticides sans baisse de marge. » *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n° 57, juillet 2009, 73.
- PELZER E., FORTINO G., BOCKSTALLER C., LAMINE C., ANGEVIN F., GUÉRIN D., GUICHARD L., REAU R., MESSÉAN A. 2012. "Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi." *Ecological Indicators*, 18 : 171-182.
- REAU R., DORÉ T., (Eds.). 2008. *Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Educagri, Dijon.
- REAU R., MONNOT L.A., SCHAUB A., MUNIER-JOLAIN N., PAMBOU I., BOCKSTALLER C., CARIOLLE M., CHABERT A., DUMANS P. 2012. « Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. » *Innovations agronomiques*, 20 : 5-33.
- RIPOCHE A. 2009. *Modélisation de systèmes de culture adaptatifs : conception de stratégies flexibles d'enherbement en parcelles viticole*. Thèse Montpellier Supagro. http://www.supagro.fr/theses/extranet/09-0033_RIPOCHE.pdf
- ROSSING W.A.H., MEYNARD J.-M., VAN ITTERSUM M.K. 1997. "Model-based explorations to support development of sustainable farming systems: case studies from France and the Netherlands." *European Journal of Agronomy*, 7 : 271-283.
- VALANTIN-MORISON M., MEYNARD J.-M. 2012. "A conceptual model to design prototypes of crop management: a way to improve organic Winter Oilseed Rape performance in a survey in farmers' fields." In *Crop Management*, ed In TECH, ISBN 978-953-307-646-1.
- VEREIJKEN P., 1997. "A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms." *European Journal of Agronomy*, 7 : 235-250.

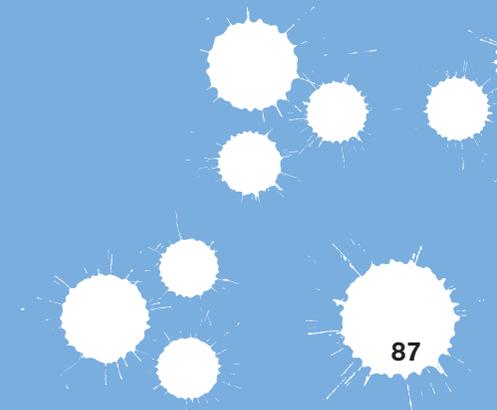
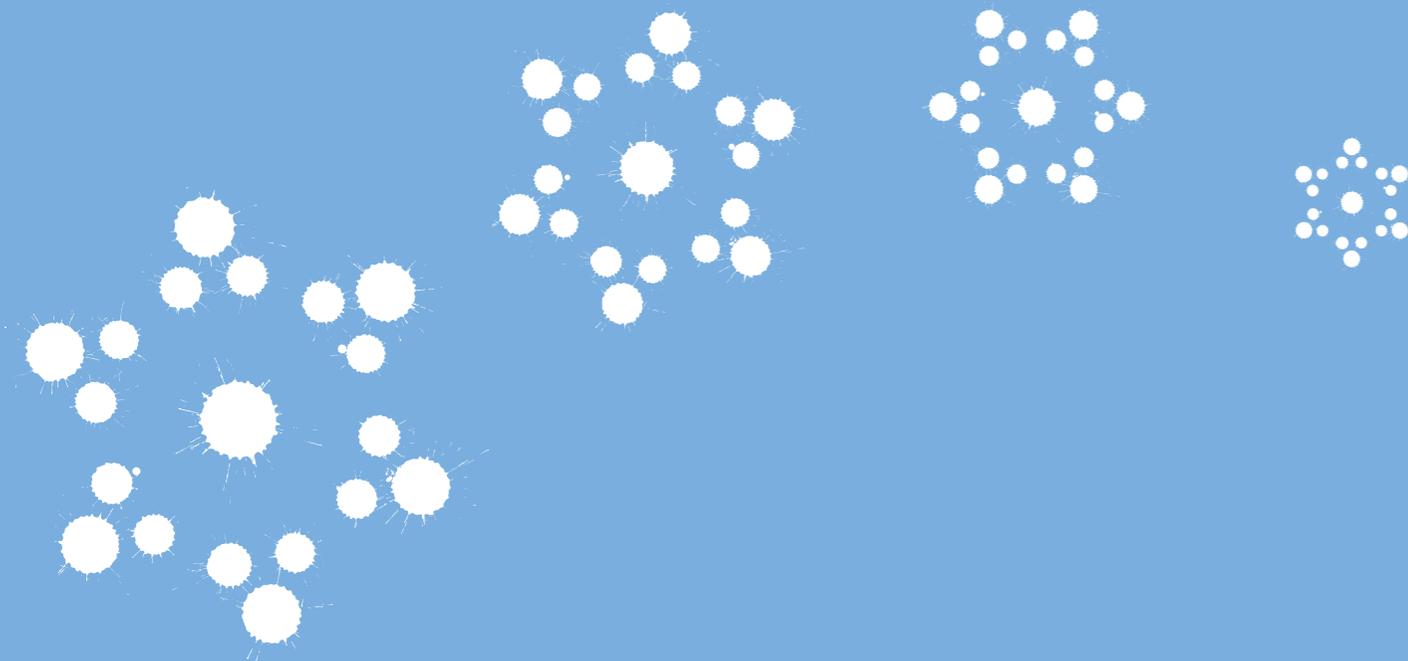
De nouvelles approches pour la conception

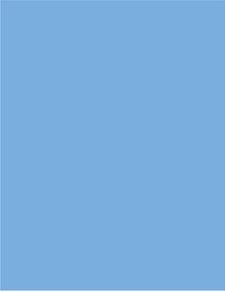
Démarches de (co)-conception en horticulture p. 89

Co-conception de systèmes de culture agrumicoles à bas intrants
L'exemple de la Guadeloupe p. 101

Conception et évaluation de systèmes de culture à bas intrants phytosanitaires
sur pommiers – L'expérimentation système BioREco p. 115

Conception de systèmes innovants en arboriculture et maraîchage
Quelles connaissances mobiliser ? p. 129





Démarches de (co)-conception en horticulture

**Marc Tchamitchian
Pierre-Yves Le Gal**

1. Introduction : pour quoi et pour qui concevoir ? p. 90
 2. Un croisement entre modes de conception et modes de participation p. 91
 3. Discussion p. 96
 4. Conclusions p. 98
- Références citées p. 99

1. Introduction : pourquoi et pour qui concevoir ?

Au cours de l'après-guerre, l'agriculture occidentale a progressé en adoptant un mode de développement calqué sur les modèles industriels. Elle s'est isolée à la fois des consommateurs, alors qu'elle revendiquait au contraire d'être traitée à l'identique des autres activités industrielles, et des écosystèmes dans lesquels elle est inscrite, pour mieux contrôler les conditions de production des cultures ou des animaux (Bellon et Hemptinne, 2012). En ont résulté de nombreuses dégradations environnementales imputables à l'agriculture, comme les pollutions des nappes phréatiques (Matson *et al.*, 1997).

L'agriculture doit donc aujourd'hui s'écologiser — car l'environnement, sa préservation et sa gestion sont devenus des enjeux et des objectifs pour les systèmes agricoles (Deverre et de Saint Marie, 2008) —, et intensifier la mobilisation des processus biologiques afin d'augmenter son autonomie, sa production de services écosystémiques et sa contribution au développement durable (Griffon, 2009). Cette écologisation des systèmes agricoles nécessite une écologisation des systèmes de connaissances, dans lesquels l'expertise des agriculteurs et leurs savoirs doivent être pris en compte par les institutions. L'agronomie, en tant que science des agroécosystèmes, doit donc contribuer à relever le défi que représente la conception de ces nouveaux systèmes écologisés en renouvelant ses approches et ses sources de connaissances (Doré *et al.*, 2011). Il faut, bien sûr, continuer à comprendre le fonctionnement des agroécosystèmes et à produire des connaissances génériques. Mais il faut aussi puiser dans les connaissances des acteurs (expérimentateurs, conseillers, agriculteurs), considérant qu'ils sont des « experts profanes » (*lay experts* selon Prior, 2003) : experts par leurs expériences, profanes car n'ayant pas toujours les connaissances universitaires.

2. Un croisement entre modes de conception et modes de participation

Pendant longtemps, le processus de conception a été pensé de manière linéaire par les chercheurs et les conseillers : les agriculteurs étaient censés adopter les innovations conçues par les chercheurs et transférées par les conseillers. Ce schéma a certes fait ses preuves mais a montré de nombreuses limites, dès lors que les innovations proposées ne répondaient pas aux attentes et contraintes des agriculteurs. Considérer que tous les acteurs de l'innovation, chercheurs, conseillers, agriculteurs, sont détenteurs de connaissances et sont donc sources potentielles d'innovations amène à mettre en place des modes de conception participative, aussi appelée co-conception (*figure 1*).

Plusieurs modes de participation

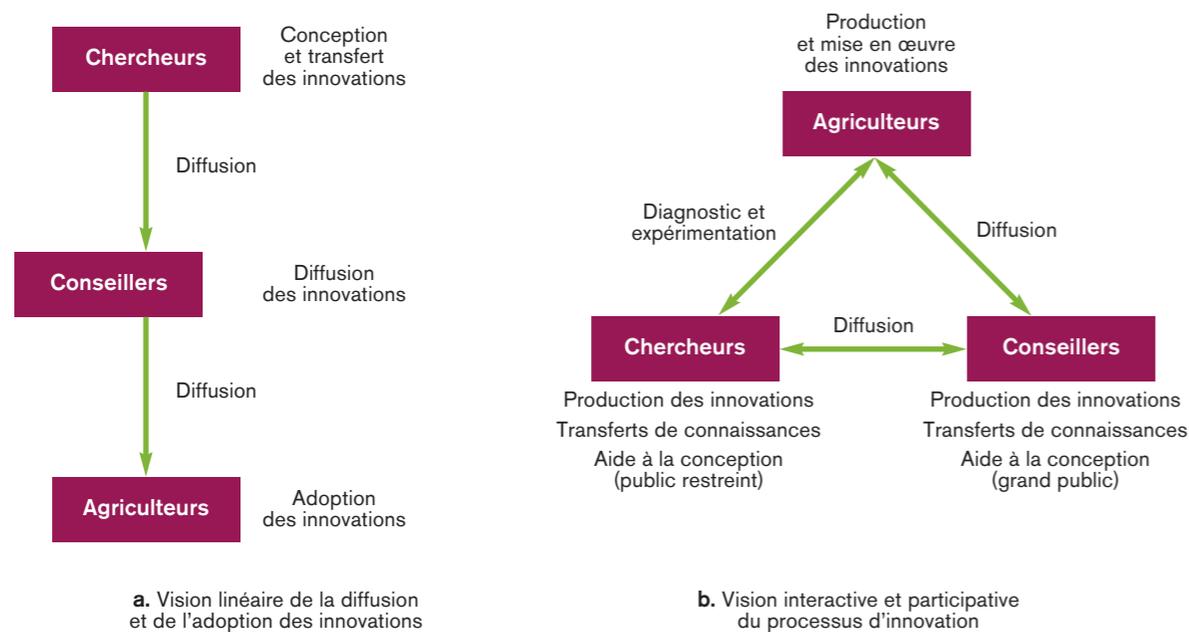
Dans un processus de conception de système de culture, l'origine de la demande constitue un élément fondateur. Elle peut être sociétale et s'exprimer *via* les pouvoirs publics et leurs appels à projets. Elle peut provenir du monde professionnel, voire des consommateurs. Dans ce cas un processus de négociation avec les chercheurs est nécessaire afin de concilier la réponse aux questions de développement posées avec l'état des connaissances disponibles et la production de connaissances, d'outils et de démarches suffisamment génériques, transférables et largement diffusables. La conception de systèmes de culture et de production plus agroécologiques conjugue ces deux grands types de demande, car elle relève de préoccupations sociétales tout en impliquant des acteurs professionnels qui assureront la mise en œuvre des systèmes proposés.

Les contributions des différents acteurs ne sont pas toujours équilibrées dans ces processus de conception, où existe toute une gradation dans la participation (Barreteau *et al.*, 2010). Les modes participatifs les moins intégrés ne mobilisent les acteurs que pour justifier les objectifs de l'innovation. Les modes intermédiaires

font intervenir les acteurs à tous les niveaux de la conception, tant dans la définition des objectifs et des critères qui permettront de juger de la réussite de l'innovation que dans la conception à proprement parler. Dans les modes les plus aboutis, ce sont les acteurs qui mobilisent la recherche. Les modes de participation reposant sur une forte contribution des conseillers ou des agriculteurs permettent une confrontation des différents points de vue conduisant à (i) reformuler les objectifs et la question justifiant une démarche d'innovation, (ii) adapter les solutions proposées aux situations d'usage (Cerf *et al.*, 2012) et (iii) des apprentissages réciproques facilitant les échanges de connaissances. La mise en application réelle de ces solutions et l'adoption d'innovations s'en trouvent facilitées.

Figure 1 – Deux visions du processus d'innovation

D'après Le Gal *et al.*, 2011



Une diversité de modes de conception

Des travaux en sciences de gestion sur les processus d'innovation dans le monde des entreprises ont permis de distinguer deux régimes de conception (Le Masson *et al.*, 2006) :

■ **la conception réglée** se caractérise par des objectifs poursuivis bien connus, des connaissances, méthodes et technologies à mobiliser disponibles, et des processus de validation bien définis et connus à l'avance. Ce fut le cas en horticulture pour les innovations en gestion climatique des serres hors-sol : l'objectif est d'améliorer le rendement en mobilisant les connaissances en écophysiologie, thermodynamique et automatique ;

■ **la conception innovante** relève d'ensembles moins bien définis : les objectifs ne sont pas spécifiés avec autant d'exactitude ; les critères d'évaluation mal établis ; les connaissances et expertises à mobiliser ne sont pas définies à l'avance dans leur intégralité.

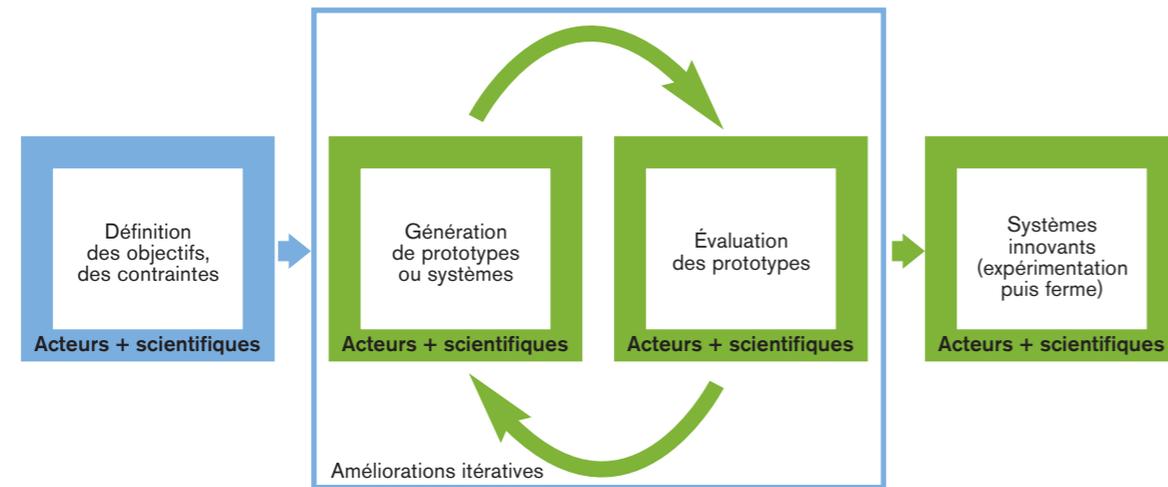
Compte tenu de la multiplicité des objectifs actuels et du fait qu'ils sont mal précisés (comment évaluer un objectif de préservation de la biodiversité, qui suppose de pouvoir définir cette biodiversité avant même d'imaginer la mesurer ?), la conception innovante est le mode privilégié dans lequel l'agronomie doit s'engager en horticulture comme dans les autres types de production. Dans cet esprit, deux familles de démarches peuvent être envisagées pour concevoir des systèmes de culture : la conception *de novo* et la conception pas à pas (Meynard *et al.*, 2012).

La conception de novo

La conception *de novo* vise à proposer des prototypes innovants en s'affranchissant autant que possible de l'existant et de ses contraintes. L'exploration des possibles s'appuie sur de l'expertise (prototypage à dire d'experts, Debaeke *et al.*, 2009), ou des modèles (conception assistée par modèles, Bergez *et al.*, 2010), ou sur les deux. Elle se fait avec ou sans la participation active des acteurs des systèmes. Trois phases successives sont identifiées : (i) fixer des objectifs partagés permettant la mise au point d'un premier prototype, (ii) améliorer ce prototype par itérations au cours desquelles évaluation (par modèles ou expérimentations) et révisions alternent, et (iii) arrêter les itérations lorsque le prototype est suffisamment stable.

L'étape centrale d'amélioration du prototype peut se décomposer en deux phases, la génération du prototype *per se* et son évaluation (figure 2). Différentes variantes existent, selon les rôles que jouent acteurs, modèles et expérimentation.

Figure 2 – Les étapes de la conception *de novo*



En horticulture, elle a été utilisée pour la conversion d'une oliveraie à l'agriculture biologique (Kabourakis, 2000). Le rôle actif de conseillers et des agriculteurs conduit à classer cet exemple dans le prototypage à dire d'expert.

L'expérimentation des prototypes peut être remplacée par une évaluation par modèle, le plus souvent de type évaluation multicritère. Cette démarche a été utilisée pour la conception de systèmes de culture maraîchers sous abri capables de maîtriser les bio-agresseurs telluriques (Navarrete *et al.*, 2010). Le rôle du modèle est d'abord de fournir un diagnostic global sur la qualité des prototypes au regard des objectifs. Mais en identifiant les éléments de ces prototypes qui sont responsables d'un accroissement du risque pathogène, le modèle permet aussi de réviser les prototypes plus efficacement.

Dans la conception assistée par modèle, un algorithme se charge d'améliorer les prototypes. Cette méthode est par nature moins utilisée en mode participatif. Elle a été utilisée pour la conception de vergers moins sensibles aux pucerons (Grechi *et al.*, 2012). À la différence des démarches présentées ci-dessus, cette méthode apparaît moins flexible, car elle se limite aux connaissances représentées dans le modèle, ce qui ne permet pas aisément une révision des critères en cours de conception.

La conception pas à pas

La conception pas à pas consiste à améliorer progressivement les systèmes de culture existants en s'appuyant sur un diagnostic porté sur cet existant. C'est une démarche itérative car le diagnostic est répété à intervalles réguliers, cohérent avec la dynamique du système et des indicateurs mobilisés pour juger de la réussite. Ses étapes sont donc le diagnostic, la conception des adaptations à apporter au système, en incluant éventuellement de nouveaux objectifs, et enfin la mise en œuvre de ce prototype.

La démarche de conception pas à pas présente l'avantage, sur les démarches de conception *de novo*, de limiter les risques, car elle s'appuie sur des systèmes et des techniques préexistants. Elle relève cependant bien du régime de la conception innovante dans la mesure où les objectifs de la conception peuvent évoluer au fil du temps, en fonction de l'expérience acquise au cours des itérations précédentes. Cette méthode a été utilisée en grandes cultures (Mischler *et al.*, 2008) et plus récemment en maraîchage dans une expérimentation système comparant production conventionnelle et agriculture biologique, couplées à deux types de commercialisation.

3. Discussion

La rupture entre la période d'industrialisation de l'agriculture de la deuxième moitié du xx^e siècle et la période actuelle est très forte. L'innovation ne se déroule plus dans un processus linéaire et orienté où les acteurs sont relativement déconnectés les uns des autres, mais dans un système où connaissances, expériences et points de vue sont partagés (*figure 1*). Ainsi, les connaissances mobilisées deviennent plurielles et sont issues de modes d'acquisition et de construction différents, laissant une grande place à la construction expérientielle. Elles sont donc formulées différemment, dans des domaines de justification différents selon les acteurs (Boltanski et Thévenot, 1991), qu'il faut expliciter pour pouvoir construire des corpus mixtes. Au-delà de l'enrichissement réciproque des différents acteurs, cette diversité des connaissances permet de mieux prendre en compte la diversité des situations réelles. Mais la représentation des connaissances en devient plus complexe.

Quels modèles pour la conception ?

Des modèles sont souvent construits pour représenter et agréger les connaissances mobilisées et servir dans la phase de conception. Cela pose des questions relatives au statut et au rôle de ces outils dans la co-conception : peuvent-ils être stabilisés ou sont-ils voués à de continues évolutions afin de rendre compte de la progression des connaissances ? Si ces outils se stabilisent, leur adoption par les acteurs professionnels est facilitée. Mais pourront-ils continuer à jouer le rôle de médiateurs facilitant le partage des connaissances entre les acteurs ? À l'inverse, s'ils évoluent continuellement, ne resteront-ils pas sous la maîtrise des scientifiques impliqués dans la co-conception ? Ces questions renvoient à la modularité des outils, à leur souplesse d'adaptation, mais aussi au choix des méthodes informatiques utilisées pour les construire. La modélisation au service des démarches de conception innovante est donc un réel enjeu.

Quelles sorties pour la recherche ?

Doit-on se contenter des prototypes et artefacts produits, donc d'une production située et adaptée à une question particulière, dont la généralisation n'est pas un problème trivial ? Ou faut-il considérer que les démarches, plus que les objets, sont le produit

de ces travaux et que l'objectif à atteindre est l'autonomisation des acteurs dans l'utilisation de ces démarches ? Dans la mesure où il semble difficile de multiplier les démarches de conception participative à l'ensemble des situations nécessitant une transformation de l'agriculture, un équilibre est à trouver entre la généralité des prototypes et modèles produits et leur capacité à prendre en compte la diversité des situations réelles.

Comment résoudre les difficultés pour la conception de systèmes complexes ?

La conception de systèmes englobant les systèmes de culture, comme des systèmes d'exploitation ou des dispositifs techniques à l'échelle des bassins versants ou d'approvisionnement de fermes, posent des problèmes plus complexes. Pour les résoudre, il convient de s'intéresser à la façon dont les acteurs eux-mêmes gèrent cette complexité et la simplifient dans le but de la rendre manipulable. Ces pratiques fournissent des clés de simplification pour les chercheurs impliqués dans une démarche de conception (Le Gal *et al.*, 2008).

Comment articuler conception et transfert des innovations ?

Les innovations conçues avec un ensemble en général restreint d'agriculteurs ont vocation à être diffusées auprès d'un public plus large. Les techniciens et conseillers, auxquels revient cette fonction, doivent donc être impliqués en amont dans le processus de conception, pour à la fois être source de propositions et s'assurer que la diffusion des innovations soit compatible avec leurs dispositifs et méthodes de travail. Un raisonnement similaire doit être tenu avec les acteurs des filières d'approvisionnement en intrants et services nécessaires à la mise en œuvre des innovations, et de mise en marché des produits qui en sont issus, pour s'assurer de la pertinence des solutions proposées dans un contexte donné. Les plateformes d'innovation (Nederlof et Pyburn, 2012), qui rassemblent ces acteurs en interaction autour d'une dynamique territoriale d'innovation, représentent un moyen d'enrichir le processus de conception participatif en exploitant la diversité des situations, des positions et des connaissances de ses participants.

4. Conclusions

Articuler processus de conception et participation des acteurs futurs utilisateurs des innovations proposées paraît *a priori* un bon moyen de réduire le risque de déboucher sur des résultats inopérants. Si le principe paraît louable, sa mise en œuvre demeure complexe s'agissant de systèmes agricoles, où la diversité des différents éléments du système, qu'ils soient processus bio-techniques, exploitations agricoles, acteurs ou contextes, est à la fois source de richesse et de difficulté. Les enjeux se situent donc à la fois dans la capacité des chercheurs à se saisir de cette complexité, et à la simplifier pour produire avec des acteurs non-chercheurs des innovations susceptibles d'être mises en œuvre !

Ce cheminement amène à souligner deux dimensions nécessaires à cette réussite. D'une part, les acteurs restant les décideurs, il convient d'adjoindre au processus de conception une réflexion sur les démarches d'aide à la conception, où l'on aide les acteurs à évaluer les conséquences de l'introduction d'innovations dans un système donné, comme dans la conception pas à pas. D'autre part, les chercheurs disposant d'une liberté de pensée qui fait la force de leur métier, il convient de stimuler leurs capacités créatives débouchant sur la production d'inventions, comme dans la conception *de novo*. Ces deux apparaissent alors complémentaires.

Références citées

- BARRETEAU O., BOTS P.W.G. ET DANIELL K.A. 2010. "A framework for clarifying 'participation' in participatory research to prevent its rejection for the wrong reasons." *Ecol. Soc.*, 15 (2) : 1. [online].
- BELLON S., HEMPTINNE J.-L. 2012. "Reshaping boundaries between farming systems and the environment." *In* DARNHOFFER I., GIBBON D., DEDIEU B., eds., *Farming systems research into the 21st century. The new dynamic*. 311-337. Springer Verlag, Heidelberg.
- BERGEZ J.-É., COLBACH N., CRESPO O., GARCIA F., JEUFFROY M.-H., JUSTES É., LOYCE C., MUNIER-JOLAIN N., SADOK W. 2010. "Designing crop management systems by simulation." *Eur. J. Agron.*, 32 : 3-9.
- BOLTANSKI L., THÉVENOT L. 1991. *De la justification : les économies de la grandeur*. NRF Essais. Gallimard, Paris.
- CERF M., JEUFFROY M.-H., PROST L., MEYNARD J.-M. 2012. "Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations." *Agron. Sustain. Dev.*, 32 (4) : 899-910.
- DEBAEKE P., MUNIER-JOLAIN N., BERTRAND M., GUICHARD L., NOLOT J.-M., FALOYA V., SAULAS P. 2009. "Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems: methodology and case studies. A review." *Agron. Sustain. Dev.*, 29 (1) : 73-86.
- DEVERRE C., DE SAINTE MARIE C. 2008. "L'écologisation de la politique agricole européenne. Verdissement ou refondation des systèmes agro-alimentaires." *Rev. Etud. Agric. Environ.*, 89 (4) : 83-104.
- DORÉ T., MAKOWSKI D., MALÉZIEUX E., MUNIER-JOLAIN N., TCHAMITCHIAN M., TITTONELL P. 2011. "Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge." *Eur. J. Agron.*, 34 (2) : 197-210.
- GRECHI I., OULD-SIDI M.-M., HILGERT N., SENOUSI R., SAUPHANOR B., LESCOURET F. 2012. "Designing integrated management scenarios using simulation-based and multi-objective optimization: Application to the peach tree-Myzus persicae aphid system." *Ecol. Model.*, 246 (1) : 47-59.

- GRIFFON M. 2009. “Pour des agricultures écologiquement intensives.” *In Les défis de l’agriculture mondiale au xxi^e siècle*. Leçons inaugurales du Groupe ESA, 169-192, Angers.
- KABOURAKIS E. 2000. “Prototyping and dissemination of ecological olive production systems in cooperation with farmers.” *In DOPPLER W., KOUTSOURIS A.*, eds, *Rural and Farming Systems Analysis: Environmental Perspectives*, Third FSRE European Symposium, p. 316-329, Hohenheim.
- LE GAL P.-Y., LYNE P.W.L., MEYER E., SOLER L.-G. 2008. “Impact of sugarcane supply scheduling on mill sugar production: a South African case study.” *Agricultural Systems*, 96 (1-3) : 64-74.
- LE GAL P.-Y., DUGUÉ P., FAURE G., NOVAK S. 2011. “How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review.” *Agricultural Systems*, 104 (9) : 714-728.
- LE MASSON P., WEIL B., HATCHUEL A. 2006. *Les processus d’innovation. Conception innovante et croissance des entreprises, Stratégie et management*. A. David, Hermès, Paris.
- MATSON P.A., PARTON W.J., POWER A.G., SWIFT M.J. 1997. “Agricultural intensification and ecosystem properties.” *Science*, 277 (5325) : 504-509.
- MEYNARD J.-M., DEDIEU B., BOS A.P. 2012. “Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices.” *In DARNHOFFER I., GIBBON D., DEDIEU B.*, eds, *Farming systems research into the 21st century. The new dynamic*. 407-431. Springer Verlag, Heidelberg.
- MISCHLER P., HOCDE H., TRIOMPHE B., OMON B. 2008. “Conception de systèmes de culture et de production avec des agriculteurs : partager les connaissances et les compétences pour innover.” *In REAU R., DORÉ T.*, eds, *Systèmes de culture innovants et durables. Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Transversales, 71-89. Educagri éditions, Dijon.
- 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 H., DEVAUTOUR H., SOULARD C.*, eds, *ISDA, Innovation & Sustainable Development in Agriculture*, 10 p., Montpellier.
- NEDERLOF S., PYBURN R., eds. 2012. *One finger cannot lift a rock. Facilitating innovation platforms to trigger institutional change in West Africa*. Royal Tropical Institute.
- PRIOR L. 2003. “Belief, knowledge and expertise: the emergence of the lay expert in medical sociology.” *Sociol. Health. Ill.*, 25 (3) : 41-57.

Co-conception de systèmes de culture agrumicoles à bas intrants

L'exemple de la Guadeloupe

Fabrice Le Bellec

1. Introduction — Contexte p. 102
 2. Méthodologie mise en œuvre p. 104
 3. Objectifs d’amélioration du système de culture p. 107
 4. Construction et expérimentation des prototypes p. 109
 5. Évaluation et diffusion des prototypes p. 110
 6. Conclusion et perspectives p. 112
- Références citées p. 113

1. Introduction – Contexte

En Guadeloupe, l'agrumiculture est considérée comme une culture de diversification de premier ordre avec un marché local porteur et demandeur : l'offre ne couvre pas la demande (*encadré 1*). D'ailleurs, cette filière est fortement concurrencée par des importations d'agrumes de la Caraïbe (environ 5 000 tonnes importées, soit l'équivalent de la production guadeloupéenne). Différencier sa production est aujourd'hui vital pour les producteurs.

Les qualités commerciales extérieures (coloration, calibre...) contribuent à cette différenciation mais ne sont pas suffisantes. En effet, bon nombre d'acteurs sociaux (gestionnaires de parcs nationaux, législateurs, consommateurs) font valoir un droit de regard sur les impacts environnementaux et humains des pratiques agricoles. Ces enjeux de développement de systèmes de culture durables souhaités par le plan national de réduction de l'utilisation des pesticides (Ecophyto) sont exacerbés par les effets induits par la crise des sols contaminés par un insecticide (Chlordécone) dont la molécule est potentiellement transférable dans les produits agricoles.

L'ASSOFWI (Association des producteurs de fruits et de christophines de Guadeloupe) porte tous les enjeux de développement de cette filière de diversification guadeloupéenne.



Verger de mandariniers.

Photo F. Le Bellec,
Cirad.

Encadré 1 La culture des agrumes en Guadeloupe en quelques points...

- En 2010, 382 ha plantés. La Côte-sous-le Vent de la Basse-Terre constitue le bassin de production historique (*photo ci-dessus*).
- Marché local rémunérateur (± 1.5 €/kg) et demandeur.
- Culture possible sur les terrains contaminés par la Chlordécone (les agrumes ne sont pas concernés par le transfert de ce polluant du sol vers les fruits).
- Vergers implantés généralement sur des fortes pentes.
- Le cortège parasitaire est maîtrisable en verger avec un recours minimum de pesticides notamment grâce aux méthodes de lutte intégrée contre ces bio-agresseurs.

2. Méthodologie mise en œuvre

Pour aider à la reconception du système de culture agrumicole guadeloupéen, nous nous sommes inspirés de la méthode du prototypage formalisée par Vereijken (1997). Elle propose un cadre méthodologique de conception flexible (Lançon *et al.*, 2007), ce qui nous a permis de l'adapter et formaliser une méthode dérivée de « prototypage participatif » nommée DISCS (*re-Design and assessment Innovative Sustainable Cropping System*; Le Bellec *et al.*, 2012). Cette méthode vise la re-conception pas à pas du système de culture tout en proposant une évaluation multicritère des effets induits par les changements proposés. C'est une méthode d'amélioration continue à trois échelles d'étude (la parcelle, l'exploitation et la région) impliquant les acteurs à toutes les étapes du processus (voir encadré 2, p. 106).

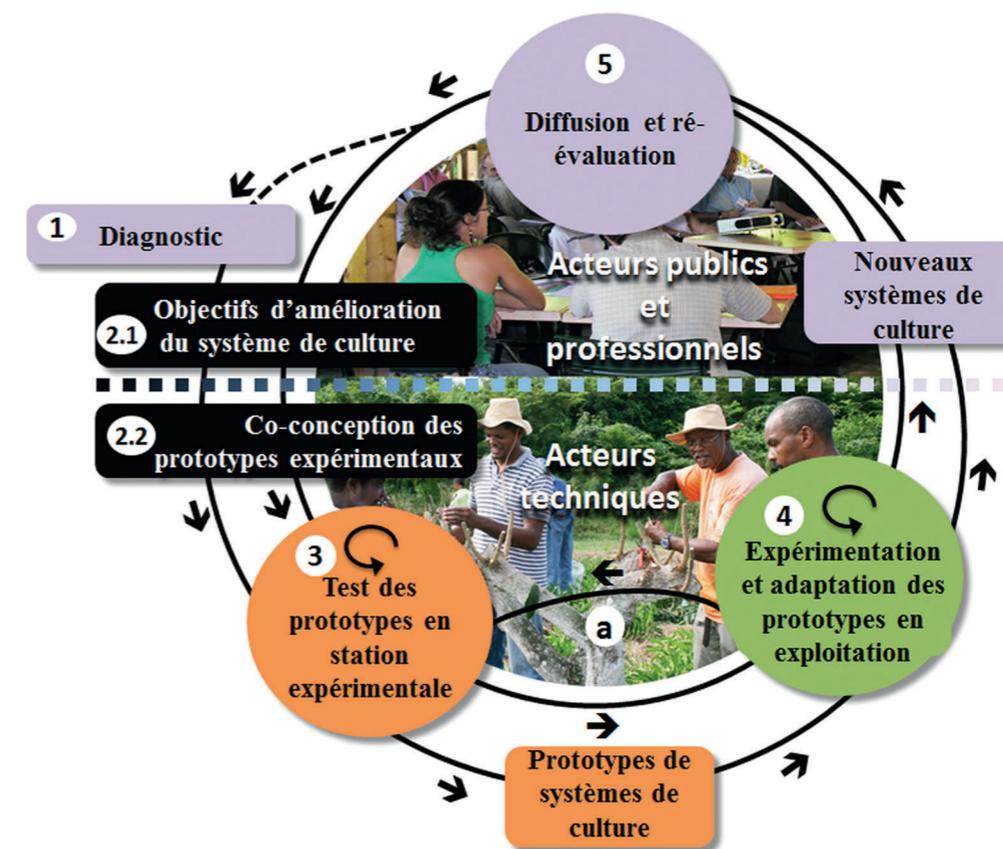
DISCS repose sur cinq étapes (figure 1) :

- Étape 1 — Un diagnostic agronomique, duquel découlent des objectifs de reconception du système de culture hiérarchisés par les acteurs.
- Étape 2 — Face à ce cadre de contraintes, des objectifs d'amélioration sont décidés et des prototypes de systèmes de culture sont construits avec les acteurs.
- Étape 3 — Ces prototypes sont expérimentés en station expérimentale, et une première boucle de progrès s'opère permettant de tester et d'ajuster ces prototypes. Les acteurs du groupe « technique » (voir encadré 2) contribuent à l'amélioration des prototypes et notamment à la révision des règles de décision de leur management.
- Étape 4 — Sur la base d'une évaluation multicritère et globale de l'innovation, les producteurs impliqués décident de tester un ou plusieurs prototypes chez eux. Des allers-retours s'ensuivent pour adapter ou ajuster le prototype, soit directement chez eux, soit par des allers-retours avec la station expérimentale. Ce qui constitue la deuxième boucle de progrès.
- Étape 5 — L'adoption de l'innovation par ces producteurs crée un effet d'entraînement, et un changement d'échelle pour passer de l'exploitation au bassin de production.

Le processus de reconception DISCS peut être remis en route notamment si de nouvelles contraintes ou de nouveaux objectifs d'amélioration sont identifiés. Ce qui constitue la troisième boucle de progrès de notre méthode.

Figure 1 — La méthode DISCS (*re-Design and assessment Innovative Sustainable Cropping System*) et ses cinq différentes étapes

Le Bellec *et al.*, 2012. Photo F. Le Bellec, Cirad.



Encadré 2

Les acteurs au centre de nos travaux...

La méthode DISCS nous a permis de formaliser l'implication des acteurs dans un processus itératif de reconception des systèmes de culture.

Deux groupes d'acteurs ont été mobilisés.

■ Les acteurs du groupe « public et professionnel ».

Deux sous-groupes ont été constitués :

- le premier a été réuni annuellement lors de séminaires techniques (groupe constitué de producteurs, de représentants des professionnels et des institutions sans limitation du nombre de représentants) ; le rôle de ces acteurs a été de définir globalement les objectifs d'amélioration du système de culture et de valider annuellement les orientations du travail ;
- le second sous-groupe, réduit à un représentant par catégorie socio-professionnelle (producteur, consommateur, gestionnaire de parc, service de l'État, santé, commerce, formation professionnelle, chercheur), a été réuni plus fréquemment pour approfondir les critères globaux d'évaluation des objectifs d'amélioration du système. Les acteurs de ces deux sous-groupes ont été impliqués aux étapes 1, 2.1 et 5 de la méthode DISCS.

■ Les acteurs du groupe « technique ».

Ce deuxième groupe d'acteurs (producteurs, conseillers agricoles de l'ASSOFWI et chercheurs du Cirad) a été réuni pour des réunions techniques spécifiques pour concevoir les prototypes et définir leurs critères spécifiques d'évaluation. Les producteurs de ce groupe ont ensuite été sollicités pour tester les prototypes sur leur exploitation. Les acteurs de ce groupe ont été impliqués aux étapes 2.2, 3 et 4 de la méthode DISCS.

3. Objectifs d'amélioration du système de culture

La première étape de la méthode DISCS nous a permis d'identifier la principale contrainte du système : l'impossibilité de mécaniser la gestion des enherbements (fortes pentes et empierrement des parcelles, *photo ci-dessous*). Cette contrainte a pour conséquence une utilisation importante d'herbicides, principalement le glyphosate, compte tenu de la très forte pression des adventices en climat tropical. Ce diagnostic a également permis d'établir avec les acteurs un cadre de contraintes du système de culture (Le Bellec *et al.*, 2011) et de décider des objectifs d'amélioration (*figure 2 page suivante*).

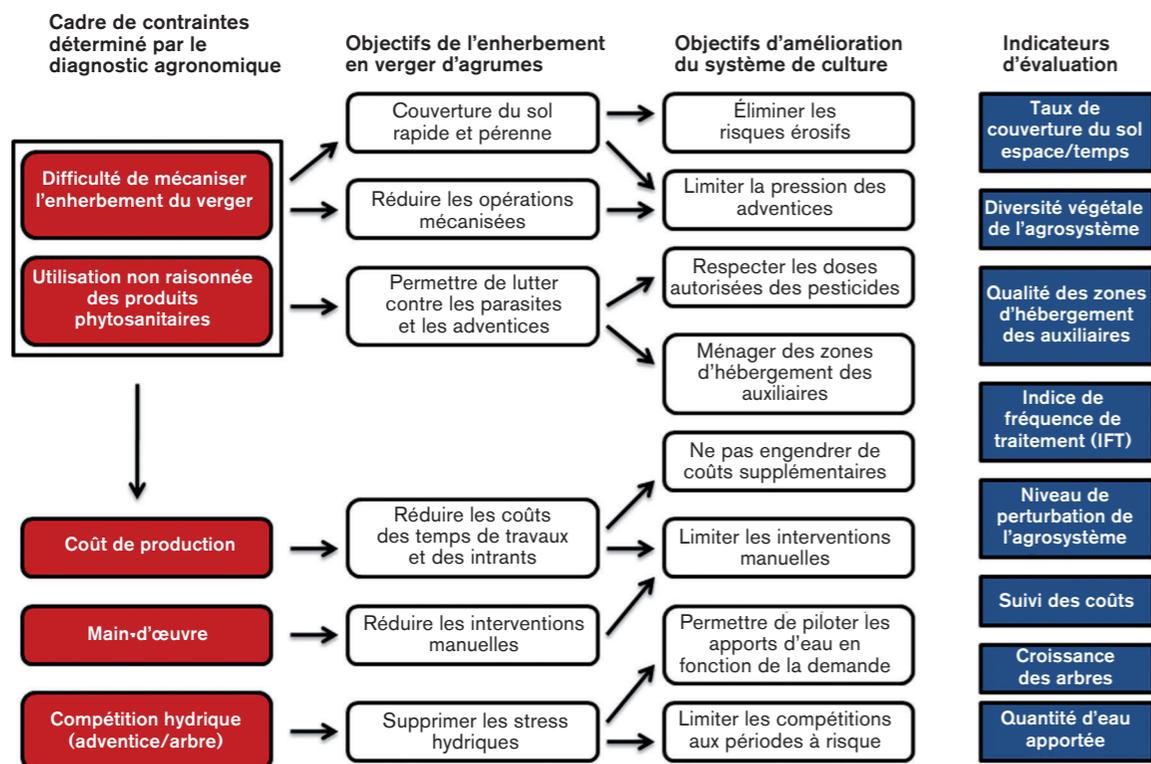


Jeune verger d'orangers en Guadeloupe.

Les fortes pentes empêchent une gestion mécanique de l'enherbement d'où une utilisation systématique et régulière d'herbicides.

Photo Y. Biard, Cirad.

Figure 2 – Cadre de contraintes du système de culture agrumicole guadeloupéen (objectifs d'amélioration et indicateurs d'évaluation de ces objectifs)



4. Construction et expérimentation des prototypes

À l'étape 2 de la démarche DISCS, suite à la définition du cadre de contraintes, cinq prototypes de gestion de l'enherbement ont été co-construits (figure 3). Ils se distinguent entre eux par la méthode de maîtrise des adventices (chimique, mécanique ou manuelle), par la fréquence d'intervention et par l'introduction ou non d'une plante de couverture du sol. La sélection de cette plante (*Neonotonia wightii*) a été réalisée grâce à une étude préalable réalisée sur le site d'expérimentation (Jannoyer-Lesueur *et al.*, 2011). Les prototypes ont été testés dans un premier temps en station expérimentale avec une expérimentation système. Le management des pratiques a été basé sur un jeu de règles de décision déterminant le type et le niveau d'intervention pour chacune des opérations culturales (encadré 3 page suivante). Les conclusions de ces règles ont reposé à la fois sur les recommandations d'un itinéraire technique de référence partagé avec les producteurs, sur les caractéristiques des cinq prototypes mais aussi sur les niveaux de compétition mesurés sur les arbres, dus à l'enherbement. Des boucles de progrès ont permis d'ajuster ces règles et d'optimiser les performances des prototypes.

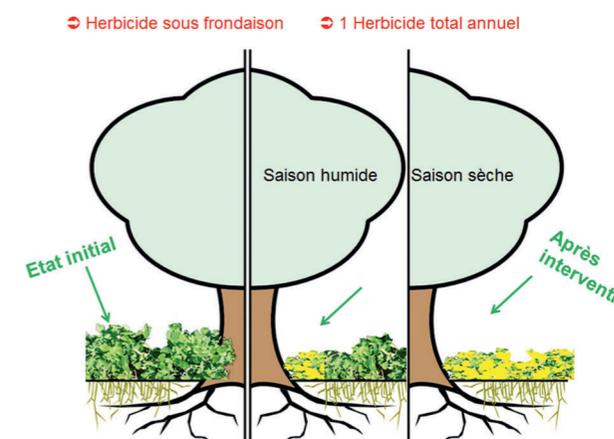


Figure 3 – Schématisation d'un des cinq prototypes de gestion de l'enherbement testés. Ce prototype met en œuvre une stratégie de gestion annualisée avec l'introduction d'une plante de couverture du sol.

Dessin F. Le Bellec, Cirad.

Encadré 3

Exemple d'une règle de décision pour la conduite des prototypes

Règle 1 – Comment différencier les apports d'eau en fonction des compétitions subies par les arbres ?

Objectif : maintenir un même niveau de croissance des arbres de tous les prototypes.

Méthode utilisée :

- dose minimale d'irrigation pour tous les prototypes, basée sur les besoins des jeunes agrumes ($0.85 \times \text{ETP}$) – Pluviométrie ;
- apports supplémentaires basés sur la mesure d'un stress hydrique via un indicateur, ici la variation de diamètre du tronc minimum journalière (dMJ) mesurée par des capteurs de déplacement (Goldhammer *et al.*, 1999) ;
- Exemple : si la valeur dMJ/2 jours mesurée est inférieure de 20 % à dMJ/2 jours du témoin alors dose d'irrigation supplémentaire de 20 %.

des prototypes sur leur exploitation (*photo ci-dessous*), cela permet de confronter le prototype aux contraintes réelles de l'exploitation. Des allers-retours d'expériences entre les acteurs permettent alors d'affiner le prototype testé et le rendre opérationnel. Dans ces conditions, les producteurs conservent jusqu'au bout du processus leur statut de co-concepteur de l'innovation, ce qui est un atout pour l'adoption ultérieure des innovations.

Figure 4 – Grille d'analyse multicritère des performances des prototypes

Echelle colorimétrique de classement : du meilleur (vert) au moins bon (rouge brique)	IFT	Dose Glyphosate	Perturbation agrosystème	Hébergement auxiliaires	Stabilité de la couverture	Energie consommée	Eau consommée	Santé des arbres	Croissance des arbres	Main d'œuvre	Coût

5. Évaluation et diffusion des prototypes

Aux étapes 3 et 4 de la démarche DISCS, l'évaluation des prototypes est réalisée à l'aide d'indicateurs simples permettant de comparer leurs performances par rapport à la pratique courante des producteurs. Une grille d'analyse multicritère (*figure 4*) synthétise ces résultats et sert d'outil de discussion avec les acteurs pour sélectionner les prototypes les plus performants. Lorsque les producteurs expérimentent un ou

Implantation d'un prototype chez un producteur.

L'usage de la plante de couverture (*Neonotonia wightii*, fabacées) permet ici de lutter efficacement contre les adventices mais aussi contre les risques érosifs. Par contre, le comportement volubile de cette plante nécessite un entretien manuel régulier autour des arbres pour éviter qu'elle ne les envahisse.

Photo F. Le Bellec, Cirad.



6. Conclusion et perspectives

L'étape 5 de la démarche DISCS, l'adoption de l'innovation à l'échelle du bassin de production, n'a malheureusement pas été effective à cause d'une nouvelle contrainte apparue sur le système de culture agrumicole guadeloupéen, l'apparition en 2011 du Huanglongbing (HLB), maladie bactérienne des agrumes.

L'ASSOFWI a la charge de répondre à ces nouveaux enjeux. Le processus DISCS peut donc être à nouveau enclenché. À l'étape 1, la lutte contre le HLB devient la principale contrainte du système. Face à cette contrainte, un groupe d'expert a d'ores et déjà apporté des réponses pour faire face à ce bio-agresseur, à savoir :

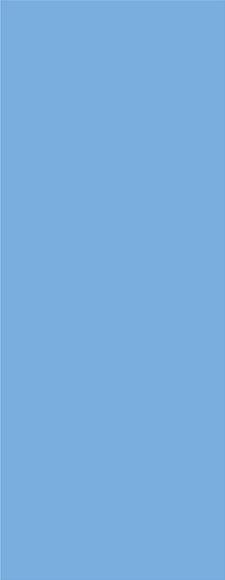
- i) la mise en place de mesures prophylactiques (arrachage des arbres atteints par le HLB),
- ii) la replantation des vergers avec des plants indemnes de HLB (nécessitant la mise en conformité des pépinières d'agrumes) et
- iii) le renforcement de la lutte biologique en verger pour préserver les parasitoïdes des vecteurs (le HLB est en effet transmis par des psylles pour lesquels deux ennemis naturels — micro-hyménoptères — ont été répertoriés en Guadeloupe).

Ce plan ne nécessite pas à proprement parler de reconstruire de nouveaux prototypes, les étapes 2 et 3 de la démarche DISCS peuvent probablement être sautées.

Par contre, l'étape 4 doit permettre de mettre en œuvre ce plan chez les producteurs et notamment prévoir leur formation aux méthodes de luttés biologiques dont celles par conservation des habitats pour optimiser l'efficacité des ennemis naturels des psylles vecteurs du HLB. C'est seulement à ce prix que les objectifs de développement d'un système de culture durable fixé par les acteurs pourront être respectés.

Références citées

- GOLDHAMMER D.A., FERERES E., MATA M., GIRONA J., COHEN M. 1999. "Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation." *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124 : 437-444.
- JANNOYER-LESUEUR M., LE BELLEC F., LAVIGNE C., ACHARD R., MALÉZIEUX E. 2011. "Choosing cover crops to enhance ecological services in orchards : A multiple criteria and systemic approach applied to tropical areas." *Procedia Environmental Sciences*, 9 : 104-112.
- LANÇON J., WERY J., RAPIDEL B., ANGOKAYE M., GÉRARDEAUX E., GABOREL C., BALLO D., FADEGNON B. 2007. "An improved methodology for integrated crop management systems." *Agronomy for Sustainable Development*, 27 : 101-110.
- LE BELLEC F., CATTAN P., BONIN M., RAJAUD A. 2011. "Building a typology of cropping practices from comparison to a common reference: first step for a relevant cropping system re-designing process —Results for tropical citrus production." *Fruits*, 66 : 143-159.
- LE BELLEC F., RAJAUD A., OZIER-LAFONTAINE H., BOCKSTALLER C., MALÉZIEUX E. 2012. "Evidence for farmer's active involvement in co-designing citrus cropping systems using an improved participatory method." *Agronomy for Sustainable Development*, 32 : 703-714.
- VEREIJKEN P. 1997. "A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms." *European Journal of Agronomy*, 7 : 235-250.



Conception et évaluation de systèmes de culture à bas intrants phytosanitaires sur pommiers

L'expérimentation système BioREco

Aude Alaphilippe, Sylvaine Simon, Daniel Plénet

Contexte p. 116

1. Approche Système BioREco : les objectifs p. 117

2. Conception des systèmes p. 118

3. Pilotage et suivi de l'expérimentation p. 122

4. Exemple de résultats et évaluation p. 123

5. Conclusion. L'expérimentation système, une démarche évolutive p. 126

Références p. 127

Contexte

On constate une forte évolution des pratiques et une différenciation importante des systèmes de culture pour répondre aux nouveaux enjeux de l'agriculture et s'adapter à la diversité des situations. Aussi est-il nécessaire de penser et d'agir de manière systémique afin :

- d'intégrer les objectifs « pluriels » et les contraintes liés aux systèmes et à leur contexte ;
- de prendre en compte les interactions entre les techniques ;
- de reconsidérer la parcelle comme un « écosystème » qu'il s'agit de piloter au mieux pour en tirer une production, tout en préservant sa durabilité.

En fonction des objectifs fixés, une approche système constitue une démarche globale pour concevoir et évaluer des systèmes souvent complexes dans leur contexte et, dans le cas des vergers qui nous intéressent ici, dans la durée.

Les objectifs de la démarche sont souvent multiples, mais la priorité est de concevoir des systèmes de culture pertinents en termes de :

- capacité du système de culture à atteindre les objectifs fixés ;
- faisabilité technique et cohérence agronomique (*ex.* : maîtrise des bio-agresseurs, alimentation hydrique et minérale...);
- contribution au développement durable (performances économiques, environnementales et sociales du système de culture).

Le but de cette démarche est donc de proposer des systèmes de culture performants et prometteurs vis-à-vis des objectifs fixés. Dans le cas de l'arboriculture fruitière, on parlera dans ce chapitre plutôt de système de production de fruits, pour tenir compte du caractère pérenne des vergers et de l'absence de rotation.

Les travaux sont développés à l'Unité expérimentale de recherche intégrée (UERI) INRA Gotheron, Valence.

1. Approche Système BioREco : les objectifs

Caractéristiques générales de l'expérimentation système BioREco

Besoins	Caractéristiques
Pratiques représentatives : <ul style="list-style-type: none">• d'une réalité (vergers commerciaux) ;• d'une pression biotique.	Obtention de résultats réalistes et transposables, à l'échelle des processus en jeu (<i>ex.</i> : régulation)
Afin de : <ul style="list-style-type: none">• comparer les systèmes (temps de travaux),• évaluer le rendement, la protection, les régulations biologiques.	→ Parcelles expérimentales de grandes surfaces privilégiées. → Souvent pas de répétition.
Pérennité de l'essai et prise en compte de la variabilité inter-annuelle.	→ Longue durée : dix ans ici. Règles de décision fixées mais évolutives. → Formalisation du système décisionnel et évaluation de la robustesse des jeux de règles de décision et de la trajectoire de chaque système.
Collecte de données et d'informations mobilisables par différents utilisateurs.	Procédures d'enregistrement codifiées. Base de données. Actions spécifiques d'échange et de transfert de connaissance.

Objectifs et description de l'expérimentation système BioREco

L'expérimentation système BioREco vise à concevoir, expérimenter et évaluer des systèmes de production de fruits permettant la réduction de l'utilisation d'intrants phytosanitaires (fongicides, insecticides, herbicides).

Plusieurs systèmes ont été implantés ; ils combinent différents leviers d'action pour atteindre ces objectifs de réduction de l'utilisation des pesticides. Pour identifier les systèmes les plus performants, nous avons effectué une évaluation multicritère de l'impact du mode de protection :

- agronomique (performance en rendement et qualité de production, préservation de la capacité de production pluriannuelle du verger),
- environnementale, via des suivis de communautés biologiques et des indicateurs,
- technico-économique, dont le coût des pratiques de protection,
- socio-technique (pics d'activité, conditions de mise en œuvre de certains leviers).

2. Conception des systèmes

2.1. Des acteurs variés suivant les étapes de la démarche

Plusieurs catégories d'acteurs ont été associées pour les différentes étapes de conception :

- pour le **questionnement scientifique et le choix d'une approche système** : le collectif de l'UERI Gotheron en interaction avec d'autres scientifiques ;
- pour le **questionnement plus technique associé à l'expérimentation** (choix des techniques à mettre en œuvre pour réduire les intrants phytosanitaires) : le collectif de l'UERI INRA Gotheron, sur la base des expériences de chacun et des connaissances techniques publiées.
- pour la **mise en place et le pilotage du dispositif** :
 - des chercheurs entomologistes, pathologistes et agronomes pour la définition des systèmes.
 - des conseillers techniques pour la mise en œuvre des stratégies et l'appui technique.

2.2. Construire les systèmes

Il s'agit d'identifier les objectifs généraux et spécifiques à chacun des systèmes, puis de les traduire en jeux de règles de décision.

Les objectifs fixés pour nos systèmes, sont les suivants :

Objectifs et stratégies des différents systèmes de culture de BioREco

3 systèmes	RAI Conventionnel raisonné	ECO Économe en intrants	BIO Agriculture biologique (AB)
Contexte			
Général	Production fruitière – Contexte évolutif		
Particulier (avec référentiel)	Charte nationale Production fruitière intégrée (déclinaison locale)	OILB ¹ (directives 2002, 2008)	Règlement européen ² + homologation nationale
Stratégie			
Générale	Production commerciale régulière		
Spécifique	Rendement et qualité Pas de prise de risques : traiter à bon escient	Limiter intrants : pesticide, énergie, (N) Traiter en dernier recours	Optimiser intrants : limiter le recours à la lutte directe (gestion des verrous techniques)

1. OILB (2002) : guidelines for integrated production of pome fruits in Europe.

Technical guidelines III, *Bull. OILB/SROP*, 25 (8).

2. Règlement CEE n° 834/2007 et ses règlements d'application (en remplacement au 1^{er} janvier 2009 du règlement CEE n° 2092/91).

Entre les trois systèmes, le choix consiste à faire varier principalement la protection contre les bio-agresseurs. Les leviers identifiés et mobilisables pour réduire les traitements phytosanitaires sont les suivants :

Leviers permettant une réduction des intrants phytosanitaires.



Les trois systèmes présentés ci-dessus ont été chacun déclinés avec trois variétés de sensibilité différente aux maladies.

Stratégies et principaux leviers mobilisés dans les systèmes BioREco

3 stratégies de protection

- RAI** : conventionnelle.
- ECO** (PFI Oilb) :
 - conventionnelle,
 - technicité maximale,
 - méthodes alternatives + protection chimique.
- BIO** : cahier des charges Union européenne et réglementation française

3 variétés

- Ariane** :
 - résistance tavelure (RT),
 - sensible oïdium.
- Melrose** :
 - peu sensible tavelure,
 - peu sensible oïdium.
- Smoothie 2832T[®], mutant de Golden** :
 - sensible tavelure,
 - sensible oïdium.

=> 9 parcelles {

- Date plantation : janvier 2005
- Surface totale : 3,3 ha
- Surface parcelle élémentaire : 0,4 ha (8 lignes x 46 arbres)

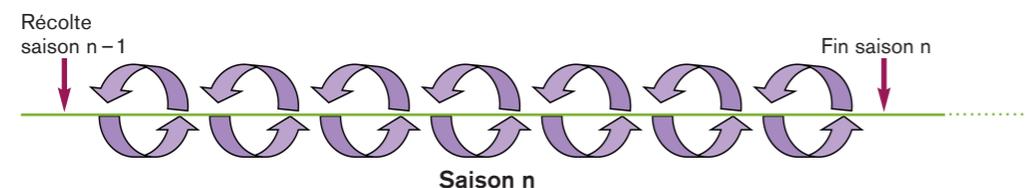
La parcelle RAI, implantée avec la variété type Golden (Smoothie 2832T[®]), représentative des pratiques usuelles de la vallée du Rhône et de la sensibilité variétale des vergers de production, constitue la référence pour les autres systèmes mis en place.

À partir de ces étapes et une fois sélectionnées les techniques alternatives à la protection chimique pour contrôler les ravageurs, maladies et adventices, les règles de décision sont rédigées. Il s'agit de définir les conditions pour la mise en œuvre de telle ou telle technique. Par ailleurs, un des aspects importants de ces approches systèmes est l'identification et la prise en compte des interactions entre les règles de décision pour la protection du verger et pour les autres pratiques culturales.

3. Pilotage et suivi de l'expérimentation

La mise en œuvre de l'expérimentation se traduit par deux types de suivi :

- pilotage : mise en œuvre des règles de décision,
- contrôle : pour le pilotage et pour la conformité réalisation/règle.



Les règles de décision sont établies et validées par tous les intervenants (*listés dans le paragraphe 2.1*). Pour les aspects relevant de la protection, chaque semaine, les interventions sont décidées en fonction de ces règles de décision, de l'état du verger, de la biologie des bio-agresseurs (et de leurs antagonistes), et en considérant également les conditions météorologiques. On s'assure, par le contrôle, de la conformité entre les pratiques réalisées et les règles de décision définies. La vérification est annuelle et se fait par autocontrôle et diagnostic d'experts extérieurs pour tous les systèmes, et pour le système BIO par la certification AB.

Suivi longitudinal et archivage

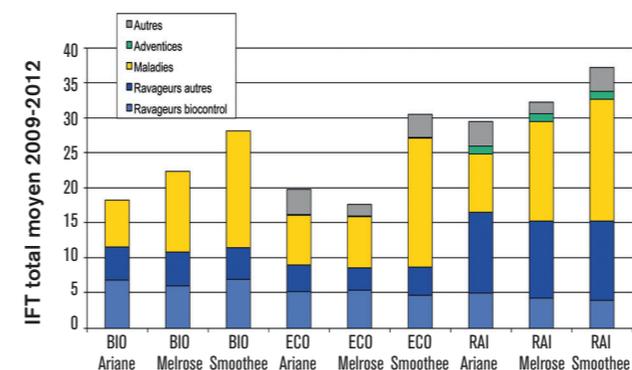
Chaque année, on procède à un bilan de l'année écoulée en proposant, si nécessaire, des ajustements des règles de décision pour l'année à venir. Dans cette phase d'ajustement, des experts extérieurs peuvent être sollicités afin d'affiner et de préciser les règles de décision et donner leur avis sur les pratiques et l'état du verger. La traçabilité pluri-annuelle des informations collectées est réalisée grâce à une procédure d'archivage aux différentes étapes de ce suivi.

4. Exemple de résultats et évaluation

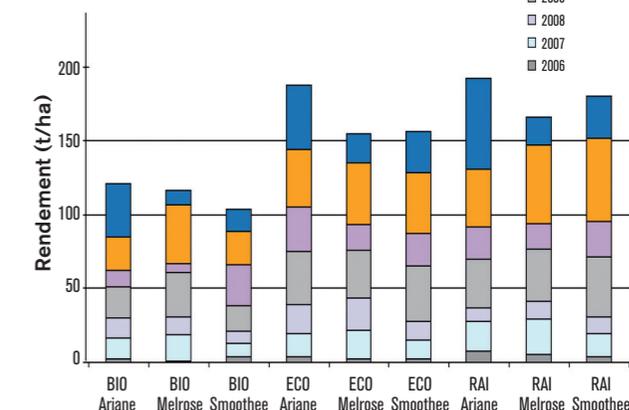
L'objectif fixé pour BioREco est la réduction des intrants phytosanitaires, mais nous avons aussi effectué une évaluation multicritère pour caractériser les performances des différents systèmes testés.

L'enregistrement des IFT (indice de fréquence des traitements) nous permet notamment d'estimer la réduction d'utilisation des pesticides obtenue dans les différents systèmes par rapport à RAI Smoothee pris comme référence (*figure ci-dessous à gauche*). Nous avons procédé de la même manière pour l'étude des rendements et de l'entrée en production (*figure ci-dessous à droite*).

Moyenne IFT 2009-2012, années de pleine production. IFT par parcelles en fonction des cibles

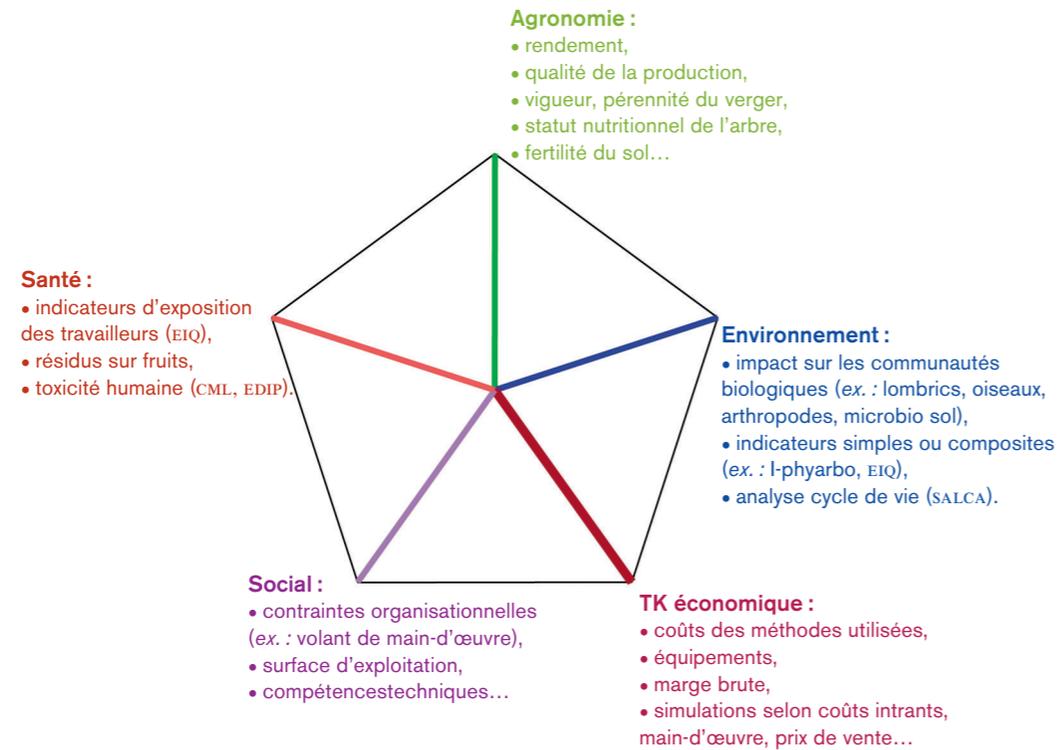


Cumul en rendement commercial (frais et industrie) de 2006 à 2012



Par ailleurs, l'évaluation multicritère des systèmes est décomposée en cinq volets (agronomie, environnement, social, technico-économie et santé), avec pour chacun d'eux, un certain nombre de paramètres, mesures et outils utilisés pour les estimer (figure ci-dessous).

Principaux volets et paramètres associés pour évaluer les vergers dans l'essai système BioRECO.



Une autre manière plus synthétique de représenter les résultats traduisant cette évaluation multicritère, est de noter les différents systèmes (pour certains critères) et de les représenter sous forme d'un tableau synthétique (ci-dessous), donnant une vision globale des points forts et faibles des systèmes étudiés.

Synthèse des performances de différents systèmes de BioRECO

	RAI Smoothee	ECO Melrose/Ariane	AB Melrose/Ariane	
Réduction pesticides (IFT)	●	●	●	Situation ● Favorable ● Intermédiaire ● Défavorable
Rendement	●	●	●	
Impact environnemental (Indigo®)	●	●	●	
Faisabilité	●	●	●	
Coûts stratégies	●	●	●	

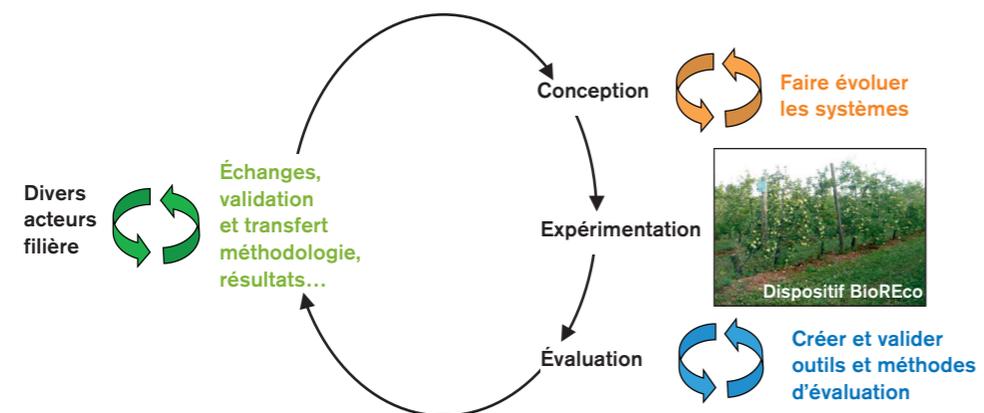
Cette représentation permet une lecture rapide des différentes performances des systèmes testés et ainsi une analyse des points forts et faibles de chacun d'entre eux.

Ainsi, on constate que les trois systèmes n'ont pas les mêmes performances, et qu'il existe une interaction entre les modes de protection et les variétés (Simon *et al.*, 2011 ; Alaphilippe *et al.*, 2014).

5. Conclusion. L'expérimentation système, une démarche évolutive

L'expérimentation système est une démarche évolutive. D'une part, parce qu'elle permet l'identification de « boîtes noires », pour lesquelles des essais analytiques peuvent apporter des éléments de réponse : il peut s'agir de la gestion de la fertilité du sol ou de la gestion de la charge en fruits, pour lesquelles les connaissances ou les techniques peuvent être améliorées. D'autre part, parce que les évolutions techniques (issues du terrain ou d'expérimentations analytiques) et législatives, modifient le contexte (cf. Le Bellec, p. 101 dans ce livre).

Démarche système : boucle de progrès et interactions aux différentes étapes de la démarche

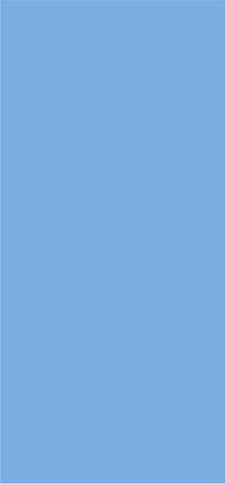


Pour conclure, la démarche système en arboriculture fruitière est une démarche intégrative et nécessitant de fortes interactions avec les acteurs de la filière à la fois pour faciliter le transfert des résultats, mais aussi pour faire évoluer les systèmes expérimentés dans un contexte lui-même évolutif.

Références citées

■ SIMON S., BRUN L., GUINAUDEAU J., SAUPHANOR B. 2011. "Pesticide use in current and innovative apple orchard systems." *Agronomy for Sustainable Development*, 31 (3) : 541-555.

■ ALAPHILIPPE A., SIMON S., BRUN L., HAYER F., GAILLARD G. 2013. "Life cycle analysis reveals higher agroecological benefits of organic and low-input apple production." *Agronomy for Sustainable Development*, 33 (3) : 581-592.



Conception de systèmes innovants en arboriculture et maraîchage

Quelles connaissances mobiliser ?

Mireille Navarrete

1. Introduction p. 130
2. Comment contrôler les nématodes à galle (*Meloidogyne* spp.) en maraîchage ? p. 132
3. Protection intégrée en arboriculture fruitière aux échelles supra-parcelle p. 137
4. Conclusion p. 140

Quelques références bibliographiques p. 141

1. Introduction

Le contexte

En maraîchage et arboriculture fruitière, il y a un usage très important des intrants phytosanitaires (*Ecophyto R&D, 2009*).

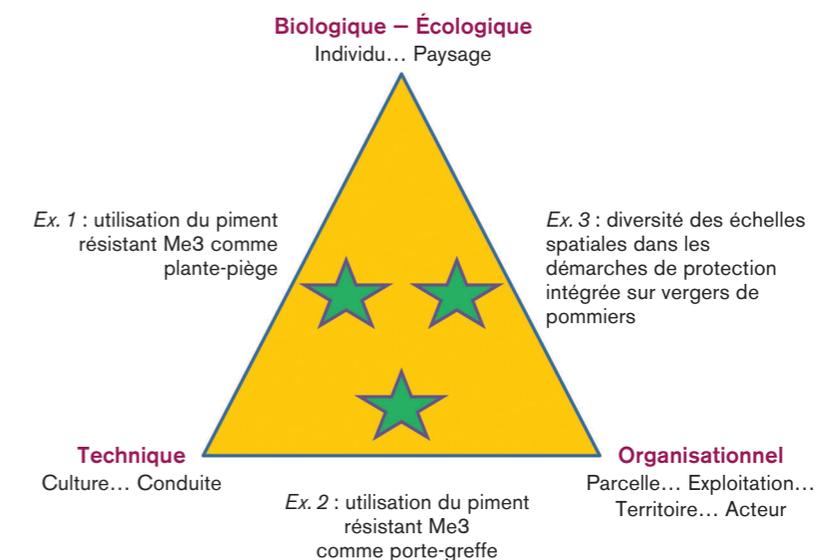
Les attentes de la société et les nouvelles réglementations nécessitent de reconcevoir de nouveaux systèmes techniques, qui soient à la fois agronomiquement efficaces pour contrôler les bio-agresseurs, mais aussi économiquement et socialement acceptables par les agriculteurs.

La conception de systèmes à bas intrants phytosanitaires suppose donc de mobiliser une diversité de leviers et une diversité de connaissances.

Une diversité de leviers et de connaissances à mobiliser

Trois ensembles de connaissances sont mobilisables

- Des connaissances sur les processus biologiques et écologiques, avec des objets d'étude allant de la plante au paysage.
- Des connaissances techniques sur les modalités de conduite des cultures, à l'échelle de la parcelle.
- Des connaissances organisationnelles, sur les agencements des pratiques dans le temps et l'espace, intégrant les stratégies des acteurs.



Les trois exemples suivants en maraîchage et arboriculture montrent en quoi les leviers mobilisables pour la conception reposent sur des combinaisons de ces trois types de connaissances.

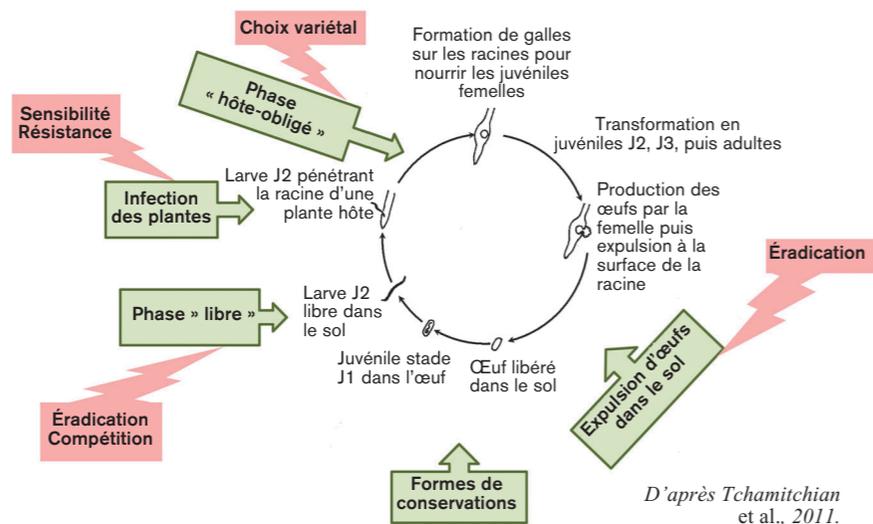
2. Comment contrôler les nématodes à galle (*Meloidogyne* spp.) en maraîchage ?

Dans le cycle de développement des nématodes à galles, plusieurs phases du cycle (en vert sur le schéma) peuvent faire l'objet d'un contrôle (en rose).

Il existe d'une part des techniques agronomiques pour réduire les populations dans le sol (solarisation, engrais verts nématicides, apport d'amendement organique) mais dont les effets sont partiels (Collange *et al.*, 2011).

Il existe aussi des gènes de résistance, sur un très petit nombre d'espèces.

- Deux espèces maraîchères : la tomate (gène Mi, dont la résistance est déjà partiellement contournée) et le piment (gènes Me1 et Me3).
- Pour les gènes Me1 et Me3 : les nématodes sont attirés par la plante hôte et bloqués dans les racines par des réactions d'hyper-sensibilité (Castagnone *et al.*, 2001).
- Ces gènes ne sont actuellement disponibles que sur des lignées à petits fruits, non commercialisables.



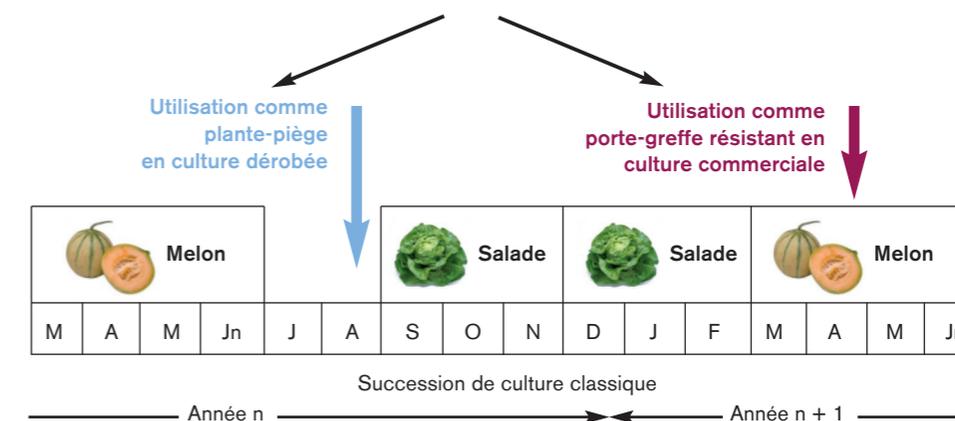
Comment transformer une innovation génétique en innovation agronomique ?

Deux voies sont possibles pour utiliser ces gènes de résistance :

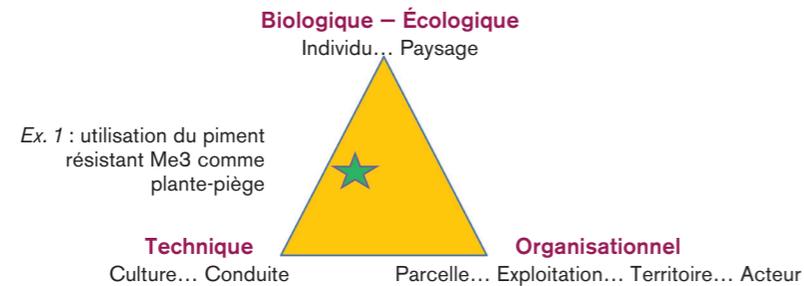
■ comme plante-piège en culture dérobée, entre deux cultures commerciales, pour assainir le sol,

■ comme porte-greffe, pour permettre la culture d'une variété commerciale de poivron sur un sol qui reste infesté.

Deux voies possibles d'utilisation des gènes de résistance Me1 et Me3 dans la conception de systèmes alternatifs



Exemple 1 – Utilisation du piment résistant Me3 comme plante-piège



But

Cultiver des piments porteurs du gène Me3 à forte densité pour maximiser l'enracinement, et donc le piégeage des nématodes dans le sol, puis enfouir la culture.
Ex. : densité de plantation de 12 plants/m² en culture dérobée contre 2 plants/m² en culture commerciale.

Conséquences

Beaucoup de maraîchers cultivent du sorgho en engrais vert avec une durée de culture équivalente. Mais il faut évaluer les conséquences de ce changement d'espèces

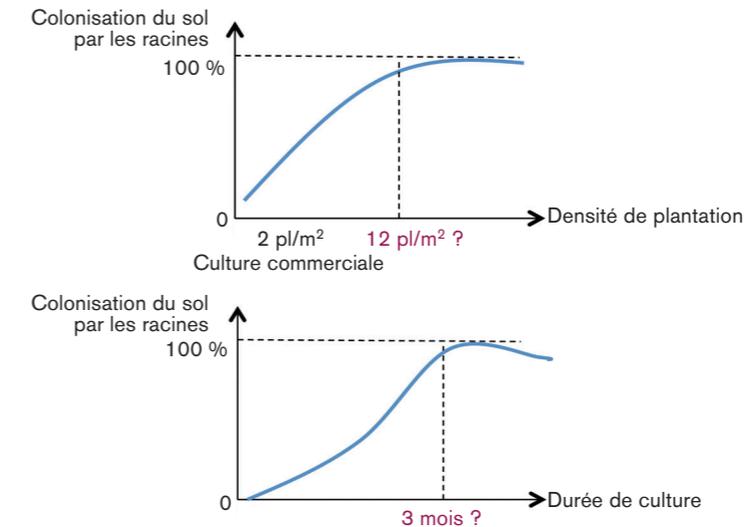
- Des modifications essentiellement à l'échelle de la culture :
 - choix d'un itinéraire technique pour une colonisation optimale du sol par les racines,
 - augmentation du coût par rapport à l'engrais vert classique (graines, mottes, élevage en pépinière),
 - augmentation du temps de travail (plantation à la place du semis).
- Des effets possibles sur les cultures suivantes (repousses de graines de piment, effets sur la structure du sol, risques de développement d'autres bio-agresseurs).
- Des conséquences à l'échelle de l'exploitation : disponibilité de la main-d'œuvre, compétences techniques.

De nouvelles connaissances à produire

- Quel itinéraire technique pour optimiser l'enracinement ?
- Quel optimum entre densité de culture et durée de la culture pour optimiser l'enracinement et tenir compte des contraintes de coût ou de durée de culture de l'exploitation ?

Un modèle théorique pour discuter du choix de la densité de plantation et de la durée de culture

Choix d'une densité et d'une durée de culture optimales



Plus la densité de plantation et la durée de culture sont importantes, meilleure sera l'occupation racinaire.

Suivant la nature des contraintes de chaque producteur, il est possible :

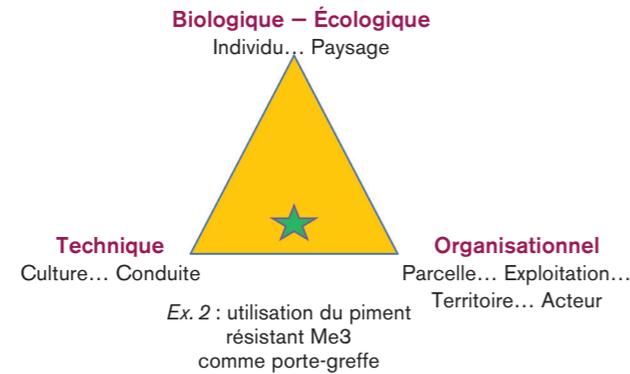
- de raccourcir la durée de culture (en augmentant la densité),
- de réduire la densité (en augmentant la durée de culture).

Ce levier mobilise donc à la fois des connaissances en agronomie et en biologie.

Quels acteurs impliquer dans la reconception du système ?

Essentiellement les agriculteurs, les conseillers techniques et les chercheurs.

Exemple 2 – Utilisation du piment résistant Me3 comme porte-greffe



But

Utiliser la lignée porteuse du gène Me3 comme porte-greffe d'une variété commerciale de poivron.

Conséquences

- Débouchés commerciaux : les producteurs peuvent-ils écouler ce produit ?
- Des coûts supplémentaires : le greffage.
- Comment intégrer ces nouvelles cultures dans les rotations actuelles ?
- Cette culture a un faible pouvoir éradiquant dans le sol du fait d'une faible densité de plantation (12 plants/m²).

De nouvelles connaissances à produire :

- Comment introgresser les gènes de résistance dans des variétés de porte-greffe de bonne qualité agronomique ?
- Comment augmenter la durabilité des résistances ? Choix de combinaisons de techniques assainissantes pour réduire l'inoculum du sol et augmenter la durabilité de la résistance (solarisation, engrais vert nématocide...)

Ce levier mobilise donc à la fois des connaissances sur les gènes de résistance et leur durabilité (dimensions biologique et écologique), ainsi que sur les modes de conduite (technique) et l'organisation temporelle des cultures et les filières (organisationnel).

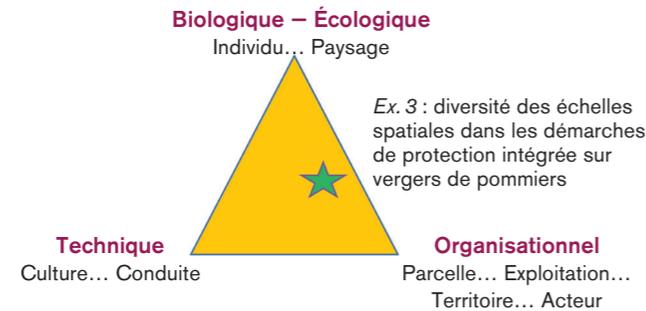
Quels acteurs impliquer dans la reconception du système ?

Les agriculteurs, les conseillers techniques, les firmes semencières, les acteurs de la filière et les chercheurs.

3. Protection intégrée en arboriculture fruitière aux échelles supra-parcelle

Contrairement aux exemples précédents qui portaient sur des bio-agresseurs telluriques, les processus de dispersion des ravageurs aériens interviennent à des échelles beaucoup plus larges que la parcelle.

Exemple 3 – Diversité des échelles spatiales dans les démarches de protection intégrée sur vergers de pommiers



Interactions entre parcelles (10 ha à 100 ha)

Effet parapluie des traitements chimiques sur les parcelles voisines pour le contrôle du carpocapse... Mais aussi **effet dépressif** sur l'abondance des auxiliaires et les régulations naturelles (Ricci *et al.*, 2009).



Bordure des parcelles

Favoriser les régulations biologiques par la gestion des espaces non cultivés (haies, bandes fleuries ; Simon *et al.*, 2010).

Bloc de parcelles (minimum 3 ha)

Contrôle du carpocapse par la confusion sexuelle (Sauphanor *et al.*, 1999).

Suivant les processus biologiques et écologiques mobilisés pour contrôler les bio-agresseurs, les échelles spatiales à prendre en compte (en vert sur le schéma) sont différentes, et parfois antagonistes (Franck *et al.*, 2012).

■ L'efficacité des **traitements chimiques** appliqués sur une parcelle dépend non seulement de leurs conditions d'application, mais également des populations de carpocapses présentes à l'échelle locale, sur les parcelles voisines.

■ Pour **favoriser les régulations naturelles**, il faut augmenter la biodiversité végétale, qu'elle soit cultivée (diversité des cultures entre parcelles) ou non (haies, bandes fleuries).

■ Pour **utiliser la confusion sexuelle contre le carpocapse**, la présence de haies et le morcellement des vergers sont pénalisants. Un bloc homogène de pommiers permet au contraire d'optimiser la diffusion des phéromones et de limiter les effets de bordure négatifs (immigration de femelles de carpocapse fécondées).

De nouvelles connaissances à produire

■ Sur les équilibres dynamiques entre les populations de bio-agresseurs et d'auxiliaires : quels facteurs jouent sur ces équilibres : pratiques culturales ; éléments du paysage ? Comment évaluer cet équilibre et à partir de quel seuil faut-il intervenir chimiquement ?

■ Sur les modes de gestion des équilibres : quel agencement spatial optimal à l'échelle d'un territoire non seulement des parcelles (et de leurs pratiques) mais aussi des surfaces non cultivées ? Comment coordonner les différents acteurs pour gérer ensemble des populations de bio-agresseurs ?

Ces leviers mobilisent donc à la fois des connaissances en dynamique des populations et en écologie, mais aussi sur l'organisation du parcellaire et des modes de conduite à l'échelle d'un territoire, sur les stratégies et jeux d'acteurs.

Quels acteurs impliquer dans la reconception du système ?

L'arboriculteur accompagné du technicien, mais aussi ses voisins, agriculteurs ou non, sur un territoire et les chercheurs.

4. Conclusion

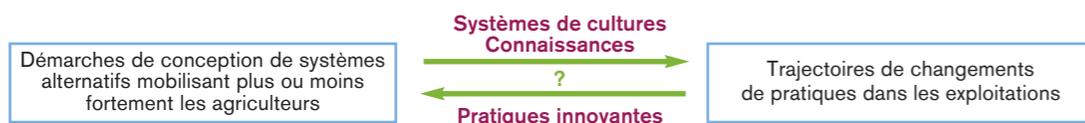
La conception de systèmes innovants suppose de rassembler des connaissances de disciplines variées, en biologie, génétique, entomologie, pathologie, nématologie, agronomie, économie, sociologie...

Quelques exemples de pluridisciplinarité

- Valoriser les synergies entre leviers techniques — Éviter les compétitions entre processus => **biologie, écologie.**
- Gérer les concurrences — Organiser les pratiques dans le temps et l'espace => **agronomie-système.**
- Évaluer les coûts des systèmes innovants par rapport aux risques encourus et aux gains attendus ; conséquences sur la filière => **économie**
- Évaluer les freins ou incitations du système socio-technique dans le processus d'innovation => **sociologie.**

L'intérêt des démarches de co-conception est qu'elles permettent de rassembler les différents acteurs concernés par le problème, pour échanger sur les objectifs de la conception, les moyens à mettre en œuvre, mais aussi pour partager cette diversité de connaissances (Navarrete *et al.*, 2010).

Il est important de s'interroger sur le lien entre conception de systèmes et changements de pratiques dans les exploitations. En effet, les agriculteurs innovent, font évoluer leurs pratiques. Il y a donc un enjeu à **comprendre les trajectoires des exploitations et l'innovation en exploitation pour faciliter l'utilisation des nouveaux systèmes techniques conçus par des tiers.**



Références citées

- CASTAGNONE-SERENO P., BONGIOVANNI M., DJIAN-CAPORALINO C. 2001. "New data on the specificity of the root-knot nematode resistance genes Me1 and Me3 in pepper." *Plant Breeding*, 120 : 429-433.
- COLLANGE B, NAVARRETE M., PEYRE G., MATEILLE T., TCHAMITCHIAN M. 2011. "Root-knot nematode (Meloidogyne) management in vegetable crop production: The challenge of an agronomic system analysis." *Crop Protection*, 30 : 1251-1262.
- FRANCK P., LAVIGNE C. *et al.* 2012. *Le Parasitisme naturel du carpocapse en fonction des caractéristiques de pratiques phytosanitaires et d'environnement paysager dans les vergers de basse-vallée de la Durance. — Dynamique des populations de carpocapse et de ses ennemis naturels dans le verger.* 6^{es} rencontres du Végétal, Agrocampus ouest, Angers.
- NAVARRETE M., TCHAMITCHIAN M., AISSA-MADANI C., COLLANGE B., TAUSSIG C. 2010. *Elaborating innovative solutions with experts using a multicriteria evaluation tool: The case of soilborne disease control in market-gardening cropping systems.* International Symposium on Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food, Montpellier, 28 June-1 July 2010, <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00512273/fr/>.
- RICCI B. *et al.* 2009. "The influence of landscape on insect pest dynamics: a case study in southeastern France." *Landscape ecology*, 24 : 337-349.
- SAUPHANOR B., TRONEL C., RICAUVY I., SPEICH P., CAZENAVE A. 1999, « Confusion sexuelle contre le Carpocapse des pommes : étude des conditions d'utilisation. » *Phytoma 1999*, 30-34.
- SIMON S. *et al.* 2010. "Biodiversity and pest management in orchard systems. A review." *Agronomy for Sustainable development*. 30 : 139-152.
- TCHAMITCHIAN M., NAVARRETE M., MESLIN E. 2012. *Utilisation de la notion de traits dans une démarche de co-conception de systèmes de culture à base écologique.* École-chercheurs « Traits fonctionnels et conception de systèmes de culture multi-espèces » en milieu tropical, 5 juin 2012, Martinique.

Biologie et écologie pour l'agronomie

Quelle intensification agro-écologique pour contrôler les bio-agresseurs dans les systèmes horticoles ? Contexte et cadre de réflexion p. 145

Actions via la plante

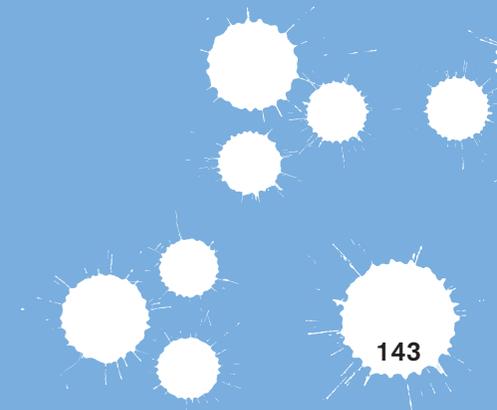
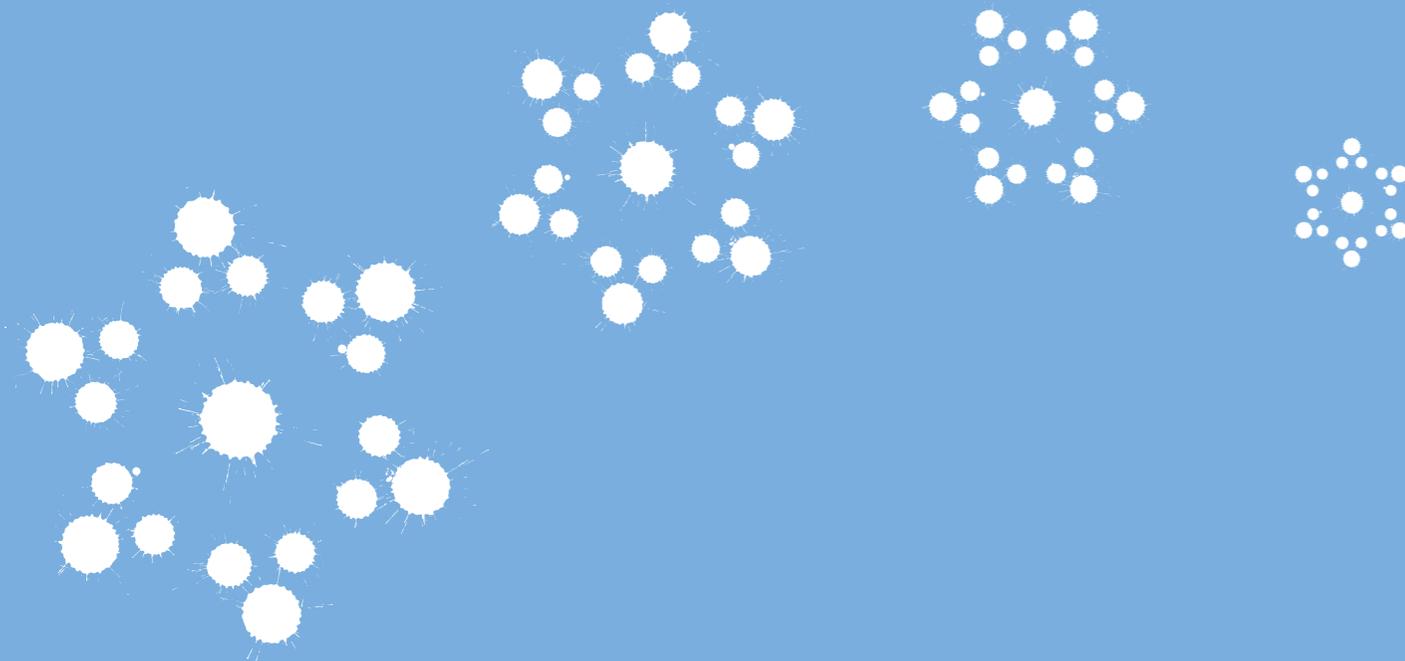
Interactions entre l'architecture de la plante et les bio-agresseurs p. 155

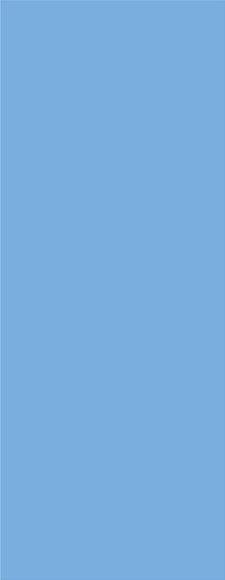
Actions via les auxiliaires

Approche systémique de l'intensification écologique pour le contrôle des bio-agresseurs p. 169

Paysages et régulations biologiques.

Impact de la structure paysagère sur les ravageurs et leurs ennemis naturels p. 181





Quelle intensification agro-écologique pour contrôler les bio-agresseurs dans les systèmes horticoles ?

Contexte et cadre de réflexion

Sylvaine Simon
Magalie Lesueur-Jannoyer

1. La réduction de l'utilisation des pesticides : un enjeu stratégique pour les systèmes horticoles p. 146
2. Une approche systémique pour aborder la complexité p. 147
3. Le contrôle des bio-agresseurs : des processus et modes d'action diversifiés p. 148
4. Vers une approche intégrée de la (re)conception de systèmes horticoles avec l'agro-écologie p. 151

Références citées p. 154

1. La réduction de l'utilisation des pesticides : un enjeu stratégique pour les systèmes horticoles

S'affranchir des pesticides (et plus généralement des intrants) est un enjeu stratégique pour la production de fruits et légumes de qualité.

Les systèmes horticoles sont des systèmes fortement dépendants des intrants chimiques, qui visent des niveaux de productivité élevés et dont les produits frais sont évalués à l'unité, en particulier sur leur aspect : les normes commerciales appréciées à l'échelle individuelle (calibre, coloration, teneur en sucres, résidus de pesticides...) conditionnent leur rémunération. Ces systèmes sont pour la plupart issus du modèle agrochimique avec des choix de conception, des techniques, des critères de sélection variétale... intégrant largement les options chimiques (fertilisants, pesticides). La filière horticole est de fait doublement concernée par cet enjeu de réduction de l'utilisation des pesticides : il s'agit de réduire les impacts environnementaux des pratiques de la filière, mais également de préserver l'image de produits frais et sains (Berrie et Cross, 2006).

Dans ce contexte, pour amorcer la transition agro-écologique des systèmes horticoles existants ou en concevoir de nouveaux, quels leviers sont mobilisables pour contrôler les bio-agresseurs ? À quelle(s) échelle(s) ?

2. Une approche systémique pour aborder la complexité

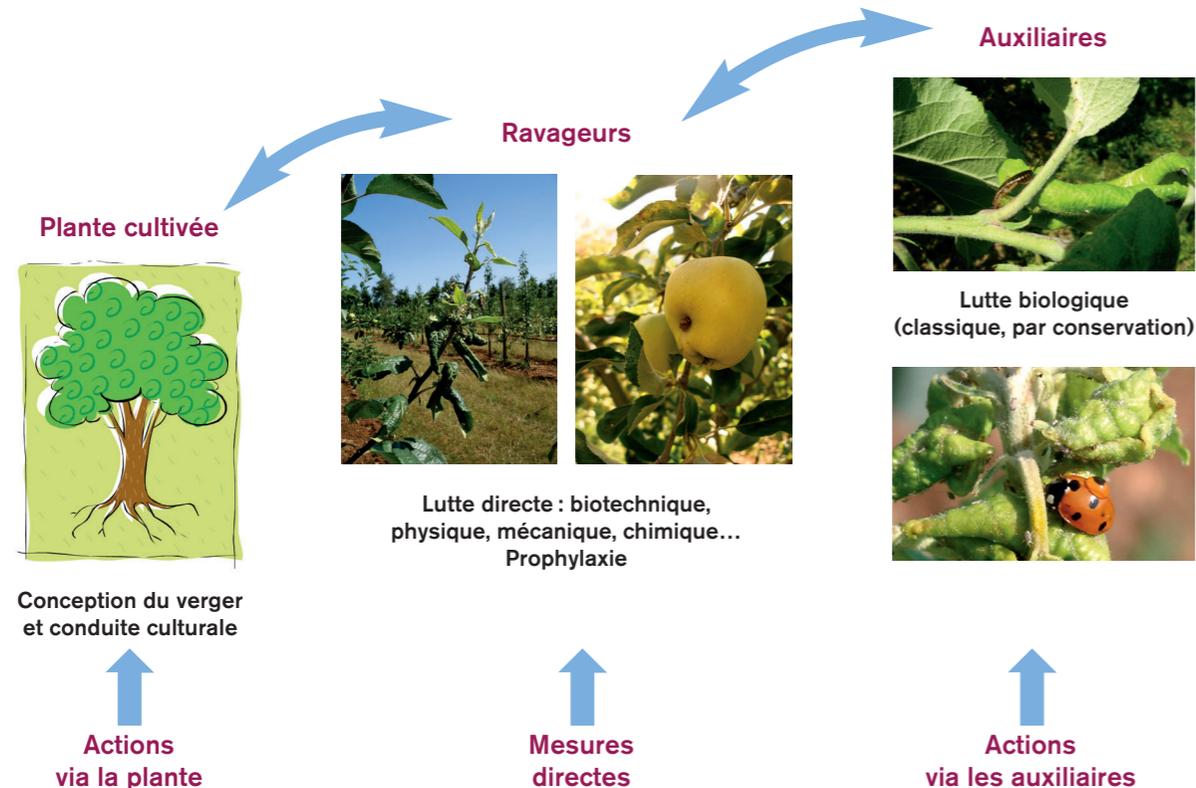
Un levier est entendu ici comme un moyen d'action pour limiter le développement des bio-agresseurs. Il est issu de la compréhension des processus biologiques et écologiques, et prend en compte les dynamiques et les cycles de développement de chacun des maillons du système horticole. En actionnant un levier, on vise à agir, directement ou indirectement, sur les ressources dont disposent les bio-agresseurs (ex. : leurs plantes hôtes), leur cortège d'ennemis naturels et (ou) leurs conditions environnementales (ex. : lumière, température, humidité), à différentes échelles (individus, communautés à l'échelle parcelle, paysage et territoire).

L'intégration d'innovation agro-écologique implique de privilégier une approche systémique dans le temps et dans l'espace. En agronomie, la notion de « système de culture » exprime le fait que « l'agronome porte un intérêt particulier à expliciter la cohérence entre les pratiques, qui ont des effets interactifs sur l'agro-écosystème, et au fait qu'elles sont décidées dans un cadre unique d'objectifs et de ressources » (Meynard *et al.*, 2012). Cette approche systémique est donc intrinsèquement complexe.

Les perceptions du système de culture par un agronome et de l'agro-écosystème par un écologue peuvent être très différentes, souvent liées aux échelles et aux objets considérés. Pour l'agronome, l'échelle considérée est la parcelle, unité de gestion, ou un ensemble de parcelles gérées identiquement. Pour l'écologue, c'est le territoire des organismes étudiés, donc un ensemble de cultures et de zones non cultivées. L'intensification agro-écologique des systèmes a donc pour défi de mobiliser différentes voies de régulation et de faire coïncider un ensemble d'actions à différentes échelles pour limiter le développement des bio-agresseurs dans les parcelles horticoles et réduire le recours aux pesticides.

3. Le contrôle des bio-agresseurs : des processus et des modes d'action diversifiés

Représentation simplifiée des interactions trophiques dans un verger et des moyens d'action pour limiter le développement des ravageurs



Dans les systèmes horticoles conventionnels, les moyens d'actions mis en œuvre relèvent principalement d'une **action directe** sur les bio-agresseurs via différentes méthodes (moyens physiques, mécaniques, (micro)biologiques, biotechniques, chimiques...). Toutefois, plusieurs processus sont impliqués dans le développement des ravageurs.

■ **Processus via la plante ou « bottom-up »**, qui affectent les niveaux trophiques supérieurs. En les mobilisant, l'objectif est de stimuler différents mécanismes biochimiques et physiologiques de défense de la plante, qui sont généralement sous contrôle génétique (ex. : résistance génétique à certains bio-agresseurs) ou de créer des conditions défavorables au développement des bio-agresseurs. La fertilisation, l'irrigation ou le travail du sol induisent des modifications agro-physiologiques de la plante et donc des ressources pour les ravageurs. La modulation de l'architecture de l'arbre par les pratiques culturales (taille) rend la plante plus ou moins difficile à coloniser par certains bio-agresseurs (aspects topologiques), modifie le microclimat au sein du couvert ou de la frondaison (aspects microclimatiques) et (ou) évite la coïncidence spatio-temporelle entre présence d'organes sensibles et présence du bio-agresseur (aspects agro-physiologiques). (Lauri et Normand, p. 155 dans ce livre.)

Ces processus « bottom-up » ne se limitent pas à une action à l'échelle de la plante, mais peuvent intervenir à l'échelle du peuplement végétal de la parcelle en culture et de son environnement proche : mélanges variétaux et cultures associées, qui limitent la localisation des plantes-hôtes par des effets de barrière et (ou) de dilution, plantes attractives (plante-piège) ou répulsives, qui détournent les ravageurs de la culture principale (Ratnadass, p. 169 dans ce livre).

■ **Processus via les auxiliaires ou « top-down »**, qui affectent les niveaux trophiques inférieurs. Il s'agira ici de favoriser la lutte biologique et donc de rechercher la présence de populations d'auxiliaires plus nombreuses et (ou) plus efficaces. L'effet recherché n'est pas une augmentation de la biodiversité générale, mais celle de la biodiversité fonctionnelle induite, impliquée dans les services de régulation naturelle. Les moyens d'action concernent tout d'abord les pratiques culturales qui doivent préserver les auxiliaires en limitant les effets non intentionnels, soit directs (ex. : mortalité suite à l'application d'insecticide non sélectif), soit indirects par la suppression de ressources au sein de la parcelle (ex. : suppression du couvert herbacé de l'inter-rang d'un verger d'une parcelle). C'est par ailleurs la diversification végétale de l'agro-écosystème et de ses habitats — et donc

des possibilités de ressources et de refuge — qui permettra de conserver et d’augmenter un cortège diversifié d’auxiliaires. Les processus en jeu, multi-trophiques, sont complexes, et les effets observés en réponse à une diversification végétale, parfois contradictoires : il s’agira de favoriser certains groupes (les auxiliaires) mais pas d’autres (les ravageurs), et de promouvoir les synergies ou interactions positives entre groupes d’auxiliaires tout en limitant les interactions négatives (cannibalisme, prédation entre auxiliaires, concurrence, etc. si leur biologie est très proche). La diversité des traits biologiques (ex. : régime alimentaire, cycle biologique) est à rechercher plutôt que la diversité spécifique, afin d’exploiter plusieurs strates ou types de ressources, dans le temps et dans l’espace, avec des modes de prédation et des régimes alimentaires variés (Ratnadass, p. 169 dans ce livre).

Des échelles emboîtées

L’échelle à laquelle se produisent ces différents processus écologiques et de régulation est souvent différente de la parcelle cultivée.

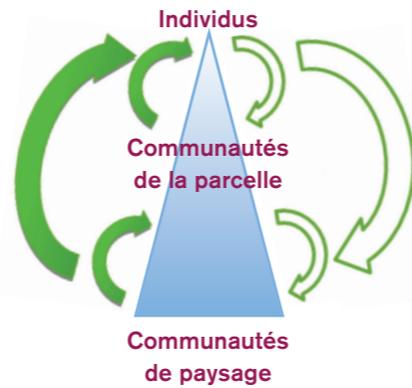
Cette échelle sera :

- différente selon les traits biologiques des ravageurs et de leurs ennemis naturels : capacité de déplacement, exploitation des ressources de différents habitats, mode de vie, mode de prédation...
- liée au paysage et aux pratiques (dont phytosanitaires) dans le paysage et à leur organisation dans le temps.

Ainsi, une approche incluant les échelles précédemment citées est nécessaire pour comprendre et maximiser les processus de régulation dans les agro-écosystèmes. L’écologie du paysage permet de fournir des éléments de compréhension des processus écologiques à différentes échelles spatiales et temporelles : variations des ressources, conditions d’accès à ces ressources... en lien avec la complexité et de l’hétérogénéité du paysage (Lavigne *et al.*, p. 181 dans ce livre).

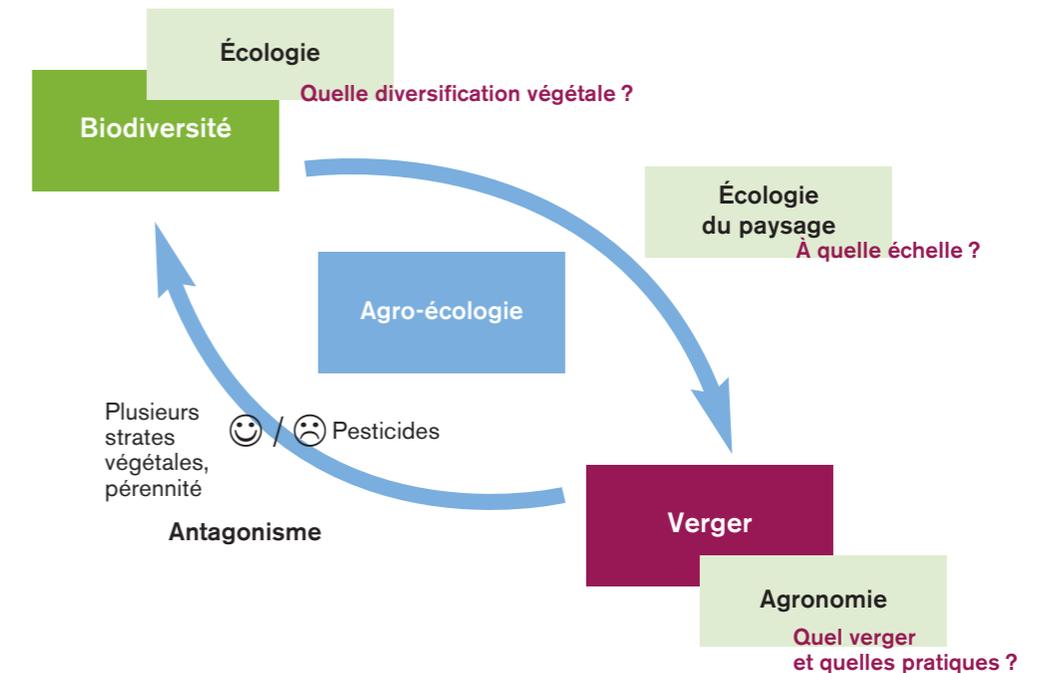
Il est donc nécessaire de travailler la conception de systèmes de culture innovants et économes en pesticides à ces différentes échelles, et en considérant l’ensemble des composantes et pratiques interagissant au sein de l’agro-écosystème (Navarrete, p. 129 dans ce livre).

Échelles emboîtées et interactions



4. Vers une approche intégrée de la (re)conception de systèmes horticoles avec l’agro-écologie

Biodiversité fonctionnelle et conception de système de culture en horticulture (ex. : verger) : atouts, limites et représentation des interactions entre communautés scientifiques



Les systèmes de culture actuels privilégient la production, pas les processus de régulation des ravageurs. Des leviers existent, à différents niveaux, pour limiter le développement des bio-agresseurs et donc les dommages en culture, mais ils reposent sur des processus complexes, peu connus, parfois à efficacité partielle, et requièrent la prise en compte et la gestion de leurs interactions.

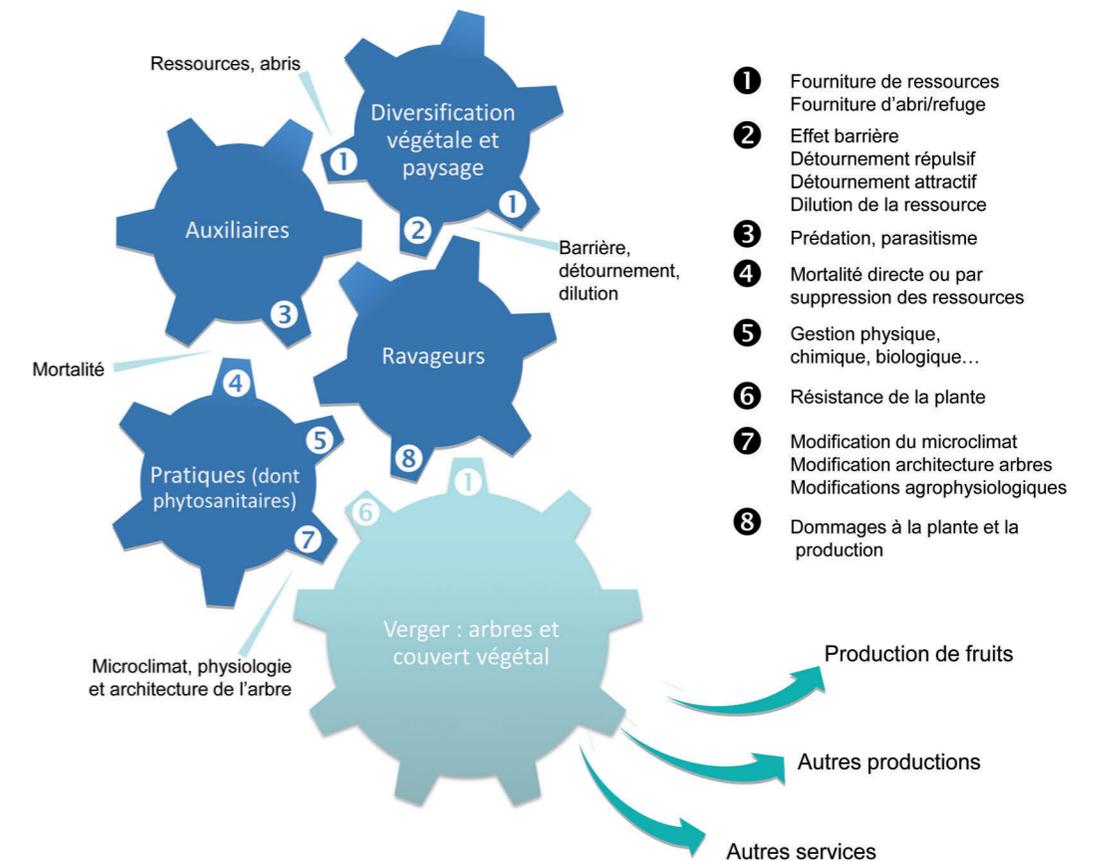
La mobilisation de processus biologiques et écologiques pour limiter les intrants demande donc une *re-conception* des systèmes de production (voir Navarrete, p. 129 dans ce livre). Plusieurs questions se posent alors : quelle combinaison de leviers pour augmenter significativement les régulations naturelles ? Quelle est l'échelle de mise en œuvre de ces leviers ? Comment construire des systèmes de culture sans connaître toutes les interactions (positives et négatives) et tous les mécanismes en jeu ? Une approche systémique dans le temps et dans l'espace sera privilégiée pour la construction d'outils tels que les modèles ou des prototypes. Elle prendra en compte les dynamiques et les cycles biologiques et phénologiques des protagonistes et leur (éco)physiologie. C'est donc une tâche ardue et complexe...

La proposition de systèmes de culture plus agro-écologiques ne correspond donc pas à des solutions « clé en main » mais à un ensemble d'options à mobiliser en fonction du contexte et des contraintes locales dans un cadre conceptuel de conception de système de culture (ex. : Vereijken, 1997 ; Lançon *et al.*, 2007). Dans cet objectif, la conception ou re-conception du système de culture permet de redéfinir des objectifs de production et (ou) de revoir leur hiérarchie, et d'étudier des compromis. De plus, pour pallier le manque de connaissances sur les interactions possibles, l'approche par les traits fonctionnels est à considérer : on raisonne alors à partir des propriétés (et fonctions associées) des organismes (plantes, animaux) de l'agro-écosystème. Ainsi, la composition du système relève des pratiques mobilisées pour des services attendus (Moonen et Barberi, 2008).

Les questions posées à la recherche sont de plus en plus complexes et multiformes, en particulier dans le champ de l'amélioration de la durabilité des systèmes horticoles actuels, dans un contexte réglementaire, sociétal et environnemental évolutif. De plus, la diversité de visions et des représentations des différentes disciplines et des différents acteurs aboutit à des attentes et des postures contrastées et des compromis souvent difficiles à obtenir. Les échelles d'appréhension des processus

en jeu (de l'individu au territoire) structurent par ailleurs les outils et font également appel à l'intégration des disciplines. Les méthodes d'analyse et de (co)conception (voir Navarrete, p. 129 dans ce livre) doivent donc être revisitées lorsque des objectifs d'intensification agro-écologique sont fixés aux agro-écosystèmes.

Interactions entre les différentes composantes de l'agro-écosystème et les pratiques en verger



Références citées

Ouvrages de synthèse recommandés

- ALTIERI M.A., NICHOLLS C.I. 2004. *Biodiversity and pest management in agroecosystems, Issue 2*. Haworth Press Inc. Binghamton, NY, USA.
- BELLON S., PENVERN S. (eds). 2014. *Organic Farming, prototype of sustainable agricultures*. Springer, 574 p.
- LE ROUX X., BARBAULT R., BAUDRY J., BUREL F., DOUSSAN I., GARNIER E., HERZOG F., LAVOREL S., LIFRAN R., ROGER-ESTRADE J., SARTHOU J.P., TROMMETTER M. 2008. *Agriculture et biodiversité : valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport. INRA, Paris, France.

Autres références citées

- BERRIE A., CROSS J. 2006. "Development of an integrated pest and disease management system for apples to produce fruit free from pesticide residues —aspects of disease control." *IOBC WPRS Bull.*, 29 (1) : 129-138.
- LANÇON J., WERY J., RAPIDEL B., ANGOKAYE M., GERARDEAUX E., GABOREL C., BALLO D., FADEGNON B. 2007. "An improved methodology for integrated crop management systems." *Agronomy for Sustainable Development*, 27 : 101-110.
- MEYNARD J.M., DEDIEU B. BOS A.P. 2012. "Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices" (chapter 18). *In: DARNHOFER I., GIBON D., DEDIEU B. (eds). Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic*. 2012, Springer, p. 407-432.
- MOONEN A.C., BARBERI P. 2008. "Functional biodiversity: an agroecosystem approach." *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127 : 7-21.
- VEREIJKEN P. 1997. "A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms." *Developments in Crop Science*, 25 : 293-308.

Actions via la plante

Interactions entre l'architecture de la plante et les bio-agresseurs

Pierre-Éric Lauri
Frédéric Normand

1. L'architecture de la plante et la morphologie des organes modulent les infestations et les infections par les bio-agresseurs p. 157
2. Des travaux analysent de manière plus précise les effets directs et indirects de l'architecture sur les interactions plante↔bio-agresseurs p. 159
3. La connaissance des composantes spatiales et temporelles de l'architecture de la plante permet de mieux analyser les relations plante↔bio-agresseur p. 162
4. Conclusion p. 164

Références citées p. 165

L'architecture de la plante conditionne l'habitat et (ou) la nourriture des bio-agresseurs et de leurs ennemis naturels. Il est donc important de considérer l'architecture de la plante individuelle, et par extension du peuplement, pour comprendre le développement des bio-agresseurs dans le couvert végétal.

L'architecture de la plante en quelques mots

L'analyse architecturale des plantes repose sur l'idée de lois sous-jacentes aux formes observées telles que celles formulées par Corner à partir des années 1940 sur les relations entre taille des fruits et des feuilles, dimensions des axes et degré de ramification (Corner, 1975). Les concepts majeurs ont été développés par Hallé et Oldeman en 1970, puis Hallé *et al.*, en 1978. Barthélémy et Caraglio (2007) ont publié une revue faisant le point sur l'évolution des concepts.

L'architecture des plantes repose sur deux grands concepts :

■ Le **modèle architectural**. Celui-ci est déterminé à partir de quelques critères qualitatifs simples tels que le mode de croissance, monopodial ou sympodial si la branche résulte du fonctionnement d'un seul méristème (premier cas, *ex.* : cerisier) ou de plusieurs méristèmes (second cas, *ex.* : abricotier), ou la position de la sexualité, latérale le long des branches (*ex.* : pêcher) ou terminale (*ex.* : manguier). Un modèle architectural est défini par des modalités de ces critères qualitatifs. Chaque plante peut être décrite par l'un ou l'autre des vingt-trois modèles architecturaux déterminés à ce jour, avec des espèces-types illustrant chacun de ces modèles. Il y a évidemment des architectures d'arbre intermédiaires entre deux ou plusieurs modèles. Selon l'espèce, voire la variété, il est nécessaire d'être plus précis dans la description des traits architecturaux. C'est l'objet de la détermination du diagramme architectural, appelé aussi unité architecturale, développé par Edelin (1984).

■ La **réitération**. Ce processus identifié par Oldeman en 1974 (*in* Hallé *et al.*, 1978) correspond à la répétition, dans une architecture existante, de la totalité ou d'une partie de cette architecture. Elle intervient naturellement au cours de la croissance de la plante. Elle peut également être traumatique si elle est provoquée par une taille par exemple.

La morphologie des organes est étroitement liée à l'architecture de la plante. En effet les dimensions ou la forme d'un organe sont en général dépendantes de sa position architecturale. On parle, en général, d'**architecture** pour caractériser les relations entre organes au sein de la plante, notamment les relations topologiques entre rameaux (*ex.* : l'axe observé est-il la succession linéaire ou une ramification du précédent ?) et de **morphologie** pour caractériser les organes eux-mêmes (forme, longueur, volume, etc.).

1. L'architecture de la plante et la morphologie des organes modulent les infestations et les infections par les bio-agresseurs

Des exemples et leurs interprétations

Au niveau local, l'effet des dimensions des rameaux

■ Les pousses longues du pommier sont plus infestées par le puceron vert que les pousses courtes (Stoekli *et al.*, 2008a).

■ La taille d'hiver du pêcher augmente la fréquence des pousses longues et infestées par le puceron vert (Grechi *et al.*, 2008).

Ces résultats sont bien interprétés par la « *plant vigor hypothesis* » : une augmentation de vigueur correspond à une augmentation du nombre d'organes jeunes à forte appétence pour les pucerons car ayant des tissus plus tendres et une sève plus riche en éléments nutritifs (Price 1991 ; Mody *et al.*, 2009). Mais d'autres processus, tels que la compétition entre points de croissance au sein de la plante, interviennent également. C'est ce que propose la « *sink competition hypothesis* » : la survie des pucerons est plus élevée sur des plantes ayant un faible nombre de points de croissance du fait de leur plus grande richesse en éléments trophiques (Larson et Whitham, 1997).

Au niveau de la plante entière et du peuplement, l'effet des dimensions de la plante

- Infestation du chêne pédonculé par des insectes herbivores : la hauteur de l'arbre augmente les infestations (Castagneyrol *et al.*, 2013).
- Infestation du pommier par le carpocapse : les grands arbres sont davantage infestés que les plus petits (Kührt *et al.*, 2006 ; Stoeckli *et al.*, 2008b).

On interprète ces résultats par le fait que plus un arbre est grand par rapport à ses voisins, plus il filtre les flux d'air et intercepte les insectes volants et les vecteurs de maladies.

Dans le contexte des relations entre une plante sensible et un pathogène virulent, on peut observer une absence ou un ralentissement de l'infection de la plante qui peuvent être liés à des facteurs architecturaux

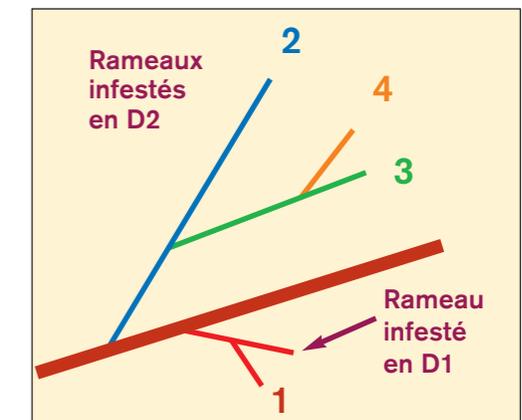
Ando *et al.* (2007) développent l'idée d'« échappement architectural » (*architectural avoidance*) qui fait intervenir des caractéristiques d'organes (pubescence foliaire, taille et forme de feuille, phyllotaxie, longueur de l'entre-nœud...) qui limitent le contact du pathogène avec la plante-hôte ou qui lui créent un environnement défavorable. Il existe également des différences de sensibilité selon l'ontogénèse de l'organe : on parle alors de « résistance ontogénique » (*ex.* : une feuille jeune de pommier est plus sensible à la tavelure, maladie fongique, qu'une feuille âgée) dans laquelle la présence de cire ou l'ouverture des stomates peuvent jouer un rôle.

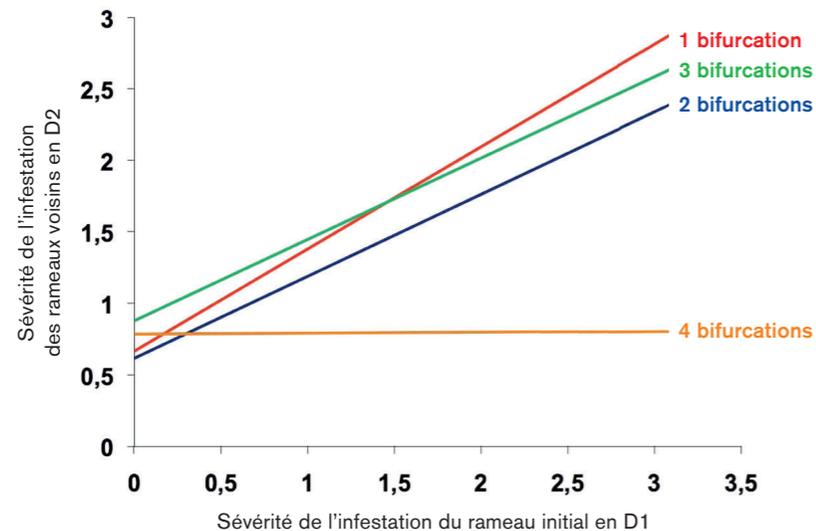
2. Des travaux analysent de manière plus précise les effets directs et indirects de l'architecture sur les interactions plante ↔ bio-agresseurs

Effets directs

Le puceron cendré est un insecte piqueur-suceur qui n'est nuisible qu'au pommier. Il peut provoquer des dégâts très importants sur les rameaux en croissance durant sa phase de multiplication printanière qui s'accompagne de déambulation sur les branches. La topologie de la branche du pommier module l'infestation par le puceron cendré : le nombre de bifurcations entre deux rameaux en croissance est la variable architecturale majeure conditionnant le succès de l'infestation par ce ravageur dans sa phase de déambulation (Simon *et al.*, 2012).

Ensemble ramifié montrant un rameau infesté en date D1, et les rameaux secondairement infestés en date D2 (les chiffres figurent le nombre de bifurcations à partir du rameau infesté en D1).





Relation entre la sévérité de l'infestation à la date D1, et la sévérité d'infestation des rameaux voisins à la date D2 (la sévérité est le nombre de pucerons par pousse, ici groupés en classes).

Plus le nombre de bifurcations entre le rameau infesté initialement et les rameaux voisins est élevé, moins les rameaux voisins seront infestés.

Effets indirects

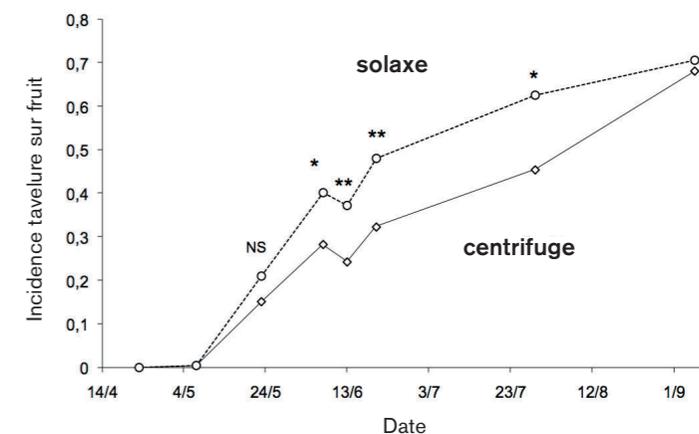
Exemple 1 – Pois et puceron, effets via un prédateur

On est dans un contexte d'interactions tri-trophiques où l'architecture de la feuille du pois (feuille vs vrille) n'affecte pas directement le puceron mais affecte le prédateur, la coccinelle, qui régule alors le puceron (Kareiva et Sahakian, 1990 ; Legrand et Barbosa, 2000).

Exemple 2 – Pommier et tavelure, effets via le micro-climat résultant d'une architecture d'arbre modifiée par la conduite (Simon *et al.*, 2006).

La tavelure du pommier affecte les feuilles et les fruits. Elle rend ces derniers invendables. Un mode de conduite a été développé pour améliorer la régularité de la production et la qualité du fruit via des tailles sélectives à l'intérieur même de la frondaison (conduite centrifuge). Il augmente la porosité de l'arbre à la lumière et à l'air (Willaume *et al.*, 2004). On le compare à un autre mode de conduite, le solaxe, où la frondaison reste plus compacte.

Dynamiques d'infection des fruits par la tavelure sur les conduites centrifuge et solaxe. On mesure ici l'incidence qui est le nombre de fruits ayant au moins une lésion en proportion du total des fruits.



La conduite centrifuge diminue globalement l'infection. Mais ces différences peuvent s'annuler si les conditions météorologiques deviennent massivement défavorables (cas d'un orage d'été peu avant la récolte, le 1^{er} septembre). L'effet de la porosité de la frondaison sur les infections est analysé sur d'autres modèles végétaux (Ferrandino, 2008).

3. La connaissance des composantes spatiales et temporelles de l'architecture de la plante permet de mieux analyser les relations plante ↔ bio-agresseur

L'architecture de la plante s'élabore dans le temps. L'analyse des relations plante ↔ bio-agresseur doit donc intégrer une double échelle, spatiale et temporelle. Dans ce dernier cas, l'infection ou l'infestation n'est possible que s'il y a concordance entre la dynamique de développement de la plante déterminant les phases sensibles, qui correspondent souvent à certains stades phénologiques (ex. : sensibilité ontogénique de la feuille) et celle de multiplication du bio-agresseur (Ferrandino, 2008). Ce thème devient particulièrement important dans l'analyse des effets des changements climatiques sur les interactions plantes ↔ bio-agresseurs.

Exemple 1 – Manguier ou goyavier-fraise et mouches des fruits.

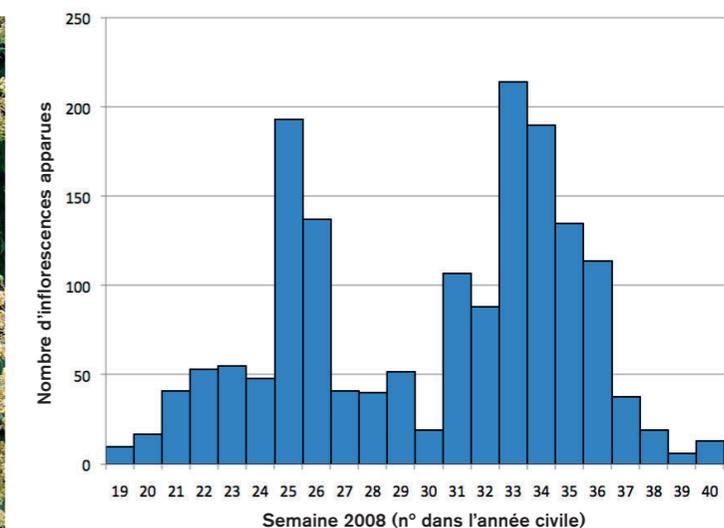
Certaines mouches des fruits piquent les mangues ou les goyaves-fraises (Normand *et al.*, 2000) à l'approche de la maturité du fruit.

Exemple 2 – Manguier et cécidomyie des fleurs.

Le manguier présente, comme beaucoup d'arbres tropicaux, des décalages, ou asynchronismes, phénologiques : les rameaux ne se développent pas tous en même temps dans un même arbre et entre arbres. Ils entraînent dans un verger une persistance des stades sensibles. La cécidomyie des fleurs du manguier est un ravageur de la floraison d'importance économique. Cette espèce se reproduit également sur les jeunes unités de croissance (Amouroux et Normand, 2013). Les asynchronismes phénologiques végétatifs et reproducteurs du manguier permettent aux populations de ce ravageur de persister et de se multiplier pendant plusieurs mois dans les vergers. Ils augmentent ainsi le stock de larves en diapause dans le sol et favorisent les infestations massives au moment de la floraison suivante.



Asynchronisme de la floraison au sein d'un manguier.
(© Frédéric Normand)



Déroulement de la floraison sur 25 manguiers (cultivar « José ») d'une même parcelle sur 23 semaines

On montre que certaines variables architecturales de l'arbre sont corrélées aux rythmes d'apparition des rameaux et donc déclenchent et entretiennent ces asynchronismes. Ainsi, pour le manguier, il existe une relation, probablement causale, entre la nature végétative ou reproductrice d'un axe et la date de débourrement des bourgeons qu'il porte (Dambreville *et al.*, 2013).

Des études sont en cours pour modéliser ces interactions et valider les effets de pratiques culturales (taille, irrigation) sur les modifications de l'architecture des arbres dans l'objectif de limiter les asynchronismes et donc à terme les ravageurs.

4. Conclusion

L'architecture de la plante, si elle est efficace pour moduler la propagation des bio-agresseurs, n'a qu'un effet partiel sur les infestations et infections. Elle doit donc être considérée en complément à d'autres facteurs (faune auxiliaire, biodiversité végétale...) explorés dans les systèmes horticoles innovants (voir Simon *et al.*, p. 145 dans ce livre).

L'analyse des relations entre architecture de la plante et bio-agresseurs s'est enrichie ces dernières années de la progression de nos connaissances en architecture végétale et intègre à présent, au-delà des caractères globaux de hauteur de plante ou de volume, des caractères de porosité de la frondaison et de dynamique temporelle de l'architecture : mise en place des organes (phénologie) et croissance.

Ces travaux ouvrent la voie à des expérimentations de pratiques culturales pour limiter les dégâts par les bio-agresseurs. On peut en effet agir directement sur l'architecture de la plante via des densités de plantation, des tailles appropriées, ou des périodicités d'irrigation et de fertilisation.

Ces interactions entre architecture de la plante et bio-agresseurs constituent un axe de recherche en développement. On note, pour la France, le réseau EpiArch (<http://ephytia.inra.fr/index.php?portail=Agrescience&produit=epiarch>), l'ANR ArchiDemio (2009-2012) avec le colloque à Rennes (juillet 2012 ; numéro spécial *European Journal of Plant Pathology* en 2013).

Références citées

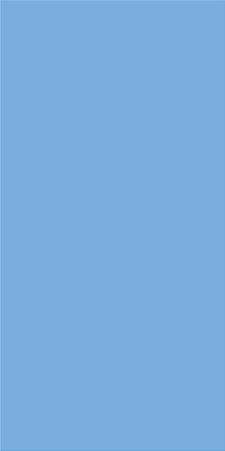
Articles de synthèse recommandés

- COSTES E., LAURI P.-É., SIMON S., ANDRIEU B. 2013. "Plant architecture, its diversity and manipulation in agronomic conditions, in relation with pest and pathogen attacks." *European Journal of Plant Pathology*, 135 : 455-470.
- PANGGA I.B., HANAN J., CHAKRABORTY S. 2013. "Climate change impacts on plant canopy architecture: implications for pest and pathogen management." *European Journal of Plant Pathology*, 135 : 595-610.

Autres références citées

- AMOUROUX P., NORMAND F. 2013. Survey of mango pests on Reunion Island, with a focus on pests affecting flowering. *Acta Horticulturae*, 992 : 459-466.
- ANDO K., GRUMET R., TERPSTRA K., KELLY J.D. 2007. "Manipulation of plant architecture to enhance crop disease control." *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2, n° 26. <http://www.cababstractsplus.org/cabreviews>.
- BARTHÉLÉMY D., CARAGLIO Y. 2007. "Plant architecture: a dynamic, multilevel and comprehensive approach to plant form, structure and ontogeny." *Annals of Botany*, 99 : 375-407.
- CASTAGNEYROL B., GIFFARD B., PÉRE C., JACTEL H. 2013. "Plant apparency, an overlooked driver of associational resistance to insect herbivory." *Journal of Ecology*, 101 : 418-429.
- CORNER E.J.H. 1975. "Prototropic organisms. XIII. Tropical trees, Thick twig, big leaf." *Theoria to theory*, 9 : 33-43.
- DAMBREVILLE A., LAURI P.-É., TROTTIER C., GUÉDON Y., NORMAND F. 2013. "Deciphering structural and temporal interplays during the architectural development of mango trees." *Journal of Experimental Botany*, 64 : 2467-2480.
- EDELIN C. 1984. *L'Architecture monopodiale : l'exemple de quelques arbres d'Asie tropicale*. Thèse de Doctorat, Université des Sciences, Montpellier 2, 258 p.

- FERRANDINO F.J. 2008. “Effect of crop growth and canopy filtration on the dynamics of plant disease epidemics spread by aerially dispersed spores.” *Phytopathology*, 98 : 492-503.
- GRECHI I., SAUGE M.H., SAUPHANOR B., HILGERT N., SENOUSI R., LESCOURRET F. 2008. “How does winter pruning affect peach tree — *Myzus persicae* interactions?” *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 128 : 369-379.
- HALLÉ F., OLDEMAN R.A.A. 1970. *Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux*. Masson et C^{ie}. Paris.
- HALLÉ F., OLDEMAN R.A.A., TOMLINSON P.B. 1978. *Tropical trees and forests*. Springer-Verlag, Berlin.
- KAREIVA P., SAHAKIAN R. 1990. “Tritrophic effects of a simple architectural mutation in pea plants.” *Nature*, 345 : 433-434.
- KÜHRT U., JÖRG SAMIETZ J., DORN S. 2006. “Effect of plant architecture and hail nets on temperature of codling moth habitats in apple orchards.” *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 118 : 245-259.
- LARSON K.C., WHITHAM T.G. 1997. “Competition between gall aphids and natural plant sinks: plant architecture affects resistance to galling.” *Ecologia*, 109 : 575-582.
- LEGRAND A., BARBOSA P. 2000. “Pea aphid (*Homoptera: Aphididae*) fecundity, rate of increase, and within-plant distribution unaffected by plant morphology.” *Environmental Entomology*, 29 : 987-993.
- MODY K., EICHENBERGER D., DORN S. 2009. “Stress magnitude matters: different intensities of pulsed water stress produce non-monotonic resistance responses of host plants to insect herbivores.” *Ecological Entomology*, 34 : 133-143.
- NORMAND F., QUILICI S., SIMIAND C. 2000. “Seasonal occurrence of fruit flies in strawberry guava (*Psidium cattleianum* Sabine) in Reunion Island: host phenology and fruit infestation.” *Fruits*, 55 : 271-281.
- PRICE W.P. 1991. “The plant vigor hypothesis and herbivore attack.” *Oikos*, 62 : 244-251.
- SIMON S., LAURI P.-É., BRUN L., DEFRANCE H., SAUPHANOR B. 2006. “Does fruit-tree architecture manipulation affect the development of pests and pathogens? — A case study in apple orchard.” *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 81 : 765-773.
- SIMON S., MOREL K., DURAND E., BREVALLE G., GIRARD T., LAURI P.-É. 2012. “Aphids at crossroads: when branch architecture alters aphid infestation patterns in the apple tree.” *Trees Structure and Function*, 26 : 273-282.
- STOECKLI S., MODY K., DORN S. 2008a. “Aphis pomi (*Hemiptera: Aphididae*) population development, shoot characteristics, and antibiosis resistance in different apple genotypes.” *Journal of Economical Entomology*, 101 : 1341-1348.
- STOECKLI S., MODY K., DORN S. 2008b. “Influence of canopy aspect and height on codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*) larval infestation in apple, and relationship between infestation and fruit size.” *Journal of Economical Entomology*, 101 : 81-89.
- WILLAUME M., LAURI P.-É., SINOQUET H. 2004. “Light interception in apple trees influenced by canopy architecture manipulation.” *Trees Structure and Function*, 18 : 705-713.



Actions via les auxiliaires

Approche systémique de
l'intensification écologique pour
le contrôle des bio-agresseurs

Alain Ratnadass

1. Intensification écologique et régulation des bio-agresseurs p. 172
2. Exemple d'approche systémique en arboriculture fruitière p. 173
3. Exemple d'approche systémique en maraîchage p. 175
4. Conclusions et perspectives p. 178

Références citées p. 179

Dans ce chapitre, « action via les auxiliaires » fait référence à la lutte biologique. « Approche systémique » et « intensification écologique » en appellent à une re-conception des systèmes de culture, dans une rupture par rapport au recours à l'agrochimie qui caractérise les systèmes conventionnels, horticoles en particulier.

Les trois formes de la lutte biologique

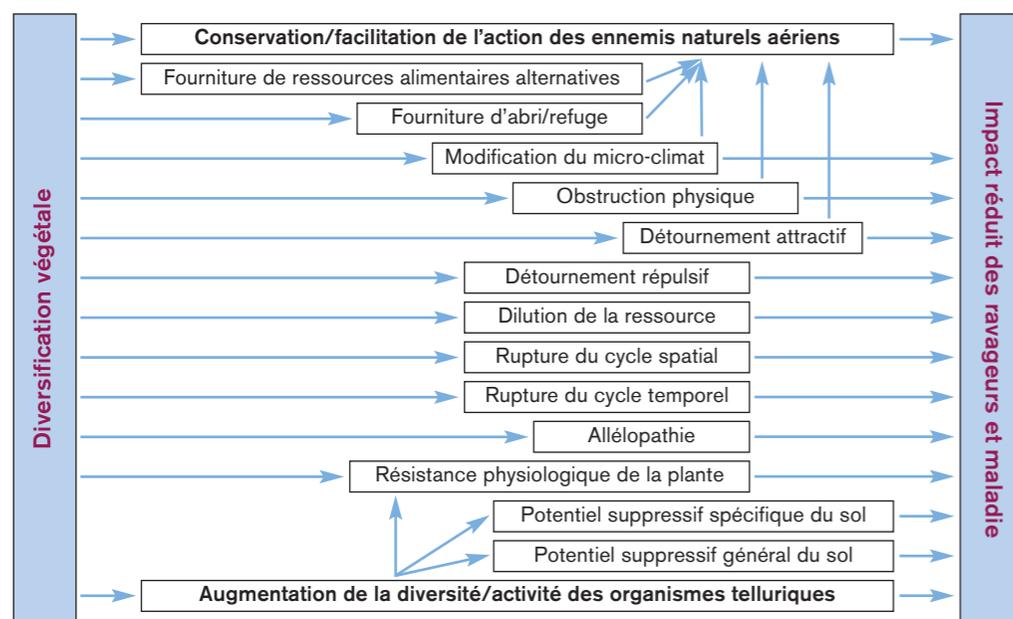
1. La lutte biologique « classique » (dite aussi par introduction, inoculation ou acclimatation) correspond au cas de figure où un ravageur exotique est introduit dans un pays et a un impact sur ses agro-écosystèmes. On va alors chercher dans sa région d'origine des auxiliaires exotiques eux aussi, a priori plus efficaces que les auxiliaires indigènes, à condition de pouvoir les acclimater. Un exemple emblématique de cette forme de lutte biologique vient de l'horticulture avec l'acclimatation en Californie en 1889-1890 de la coccinelle *Novius (Rodolia) cardinalis* prédatrice de la cochenille australienne des agrumes *Icerya purchasi* introduite accidentellement en 1868 (Caltagirone et Doust, 1989).

2. Dans la lutte biologique par augmentation (ou inondation), ce sont des auxiliaires indigènes (ou supposés tels) qu'on utilise pour contrôler des ravageurs indigènes ou exogènes, via des lâchers massifs ou répétitifs. Les systèmes horticoles sont ici aussi à l'honneur : les lâchers inondatifs ne sont quasiment pratiqués que dans des espaces clos (cultures sous serres, essentiellement horticoles) où ils s'avèrent d'une grande efficacité et avec un risque limité pour l'environnement.

3. Concernant la lutte biologique par conservation, les systèmes horticoles sont également à l'honneur, puisque le plus ancien exemple connu est celui de l'utilisation de fourmis oecophylles (ou « tisserandes ») sur agrumes en Chine au quatrième siècle de notre ère (Huang et Pei, 1987). Les deux premières formes de lutte biologique n'appellent pas à une approche systémique de re-conception des systèmes de culture, la deuxième forme notamment ayant recours aux lâchers inondatifs en substitution de traitements chimiques. En revanche, la troisième forme de lutte biologique, celle « par conservation », qui s'appuie sur la notion de gestion des habitats (Deguine et Ratnadass, 2013), en appelle à la re-conception des systèmes de culture pour rompre avec l'utilisation de produits chimiques de protection des cultures.

1. Intensification écologique et régulation des bio-agresseurs

L'application des approches de l'agro-écologie (Wezel *et al.*, 2009) et de l'intensification écologique (Griffon, 2013) à la protection des cultures (Deguine *et al.*, 2008 ; Ratnadass et Barzman, 2014) en appelle à la re-conception des systèmes de culture, en particulier via l'augmentation de la biodiversité des espèces végétales dans les champs cultivés ou autour de ceux-ci. Cette diversification végétale, pilier de l'approche agro-écologique, aboutit en effet dans certaines conditions à la régulation des bio-agresseurs via différents processus, telluriques ou aériens, « *bottom-up* » ou « *top-down* », parfois plusieurs en combinaison (Ratnadass *et al.*, 2012).

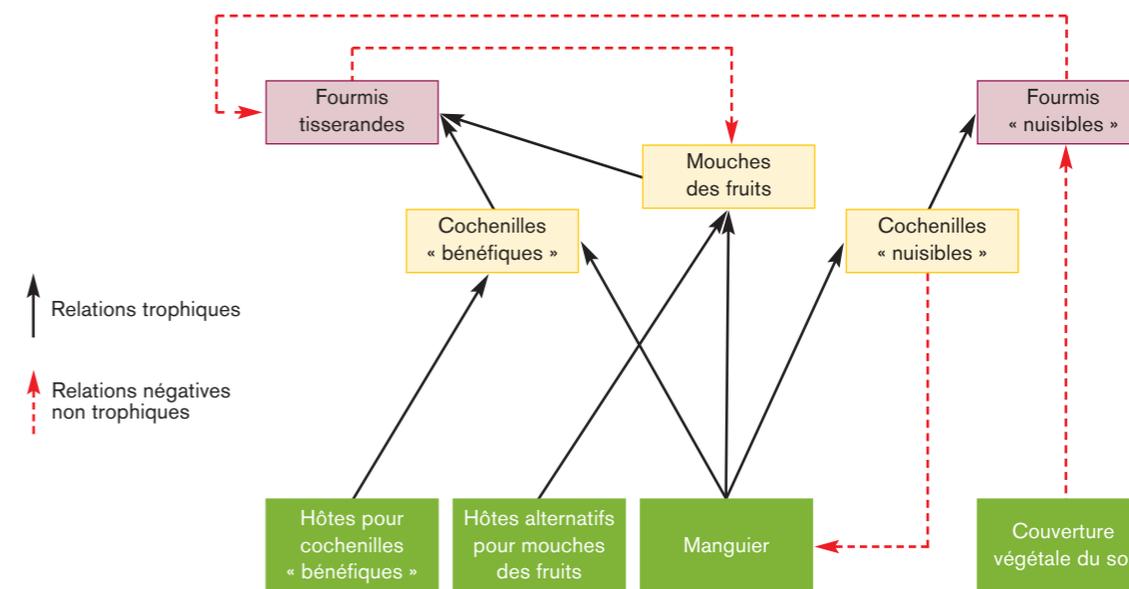


Principaux processus de réduction de l'impact des bio-agresseurs via l'introduction de diversité végétale spécifique dans les agroécosystèmes

D'après Ratnadass et al., 2012.

2. Un exemple d'approche systémique pour la régulation des bio-agresseurs en arboriculture fruitière

Considérée comme le plus ancien exemple de lutte biologique par conservation, l'utilisation en Asie des fourmis tisserandes (*Oecophylla smaragdina*) est aussi promue en Afrique avec l'espèce voisine *O. longinoda*, particulièrement en vergers de manguiers (Van Mele *et al.*, 2007).



Représentation simplifiée d'un réseau trophique en verger de manguiers en Afrique de l'Ouest (Bénin) avec les leviers d'action sur la diversité végétale pour l'optimiser via des effets « *top-down* ». *Adapté de Ratnadass et Barzman, 2014.*

Au premier niveau trophique, on trouve le manguier et les plantes hôtes des mouches des fruits. Celles-ci, essentiellement *Bactrocera invadens* et *Ceratitis cosyra*, appartiennent au deuxième niveau trophique. On trouve un troisième niveau trophique constitué par des fourmis, « bénéfiques », comme *O. longinoda*, ou « nuisibles » comme *Pheidole megacephala*. Ces fourmis sont en fait attirées par des cochenilles, « bénéfiques » ou « nuisibles », qui appartiennent également au deuxième niveau trophique.

Au Bénin, de nombreuses espèces ligneuses hébergent des nids d'*O. longinoda*, sur lesquels on trouve plusieurs espèces de cochenilles que les fourmis tisserandes protègent, véhiculent et dont elles exploitent le miellat. La plupart de ces espèces ne sont pas nuisibles au manguier car elles ne colonisent généralement que les rameaux de l'arbre et les pétioles des fruits, plus rarement les fruits sur lesquels elles n'occasionnent que des dommages visuels superficiels, n'atteignant pas la pulpe. De plus, ces espèces ne sont généralement pas vectrices de maladies à virus (Vayssières, 2012).

La prédation exercée par *O. longinoda* sur les mouches des fruits est faible sur les adultes mais assez fréquente sur les larves, surtout celles de troisième stade au moment de leur sortie des fruits infestés (Vayssières *et al.*, 2009). En l'absence de perturbations du couvert végétal au sol (e.g. fauche) ou de traitements phytosanitaires sur la canopée, les fourmis tisserandes arrivent à empêcher les espèces de fourmis terricoles dominantes (*P. megacephala*) de monter sur les arbres, et d'apporter des espèces de cochenilles « nuisibles » car vectrices de maladies à virus (Vayssières, 2012). Outre la gestion de la couverture végétale (plante de service ou enherbement), les autres leviers sur lesquels on peut jouer, en termes de diversité végétale, sont les plantes « hôtes » des fourmis tisserandes, que l'on cherchera à favoriser, et les plantes hôtes alternatives des mouches des fruits, que l'on cherchera au contraire à éliminer, dans les vergers ou leur environnement immédiat (ce dernier levier étant purement « *bottom-up* »).

Ce qui est particulièrement intéressant est la réaction de répulsion sur les mouches des fruits générée par les fourmis tisserandes après leur passage sur les fruits. Au laboratoire, on a mis en évidence un effet répulsif des traces de ces passages sur les femelles de *C. cosyra* et de *B. invadens*. Cela conduisait également à une diminution du nombre de piqûres de ponte et donc,

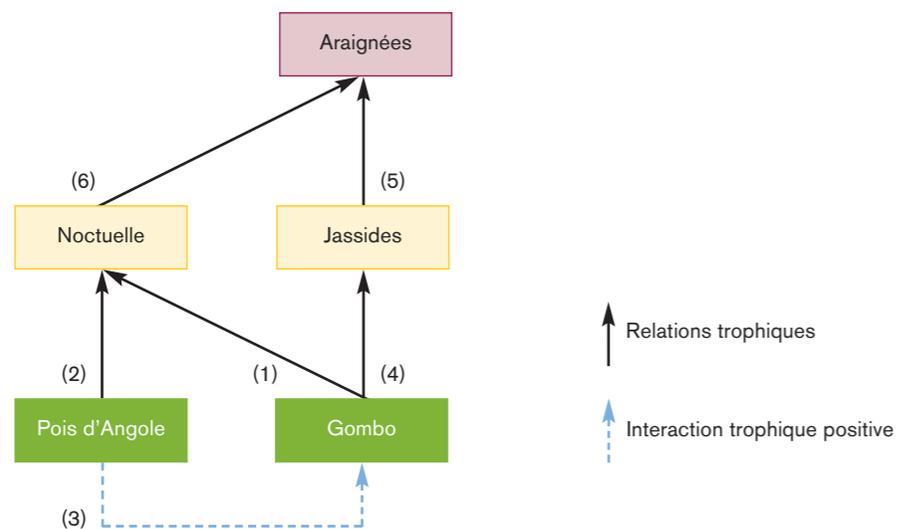
au final, à une diminution significative des dégâts dus aux mouches des fruits sur mangues (Adandonon *et al.*, 2009 ; Van Mele *et al.*, 2009).

On a donc bien ici une régulation par « lutte biologique de conservation », de type « *top-down* », pouvant être favorisée par des modalités de diversification végétale spécifique : (1) en maintenant une couverture ou enherbement ; (2) en favorisant les plantes hôtes des cochenilles « bénéfiques » et en éliminant celles hôtes des cochenilles et des fourmis « nuisibles ». Cette régulation met également en jeu un « détournement répulsif », pas trophique *stricto sensu*, mais qui aboutit à une régulation.

3. Un exemple d'approche systémique pour la régulation des bio-agresseurs en culture maraîchère

La stratégie « *push-pull* » de détournement stimulo-dissuasif est considérée comme un exemple emblématique de gestion agro-écologique des ravageurs, adaptée aux petites surfaces non mécanisées comme c'est le cas pour les cultures maraîchères notamment en agriculture familiale en Afrique de l'Ouest. Les processus de régulation des bio-agresseurs y sont aussi bien « *bottom-up* » que « *top-down* », avec mobilisation de prédateurs généralistes.

Le système de culture du gombo en parcelles entourées de pois d'Angole comme plante-piège, établi sur la base d'études conduites au Niger, en est un exemple (ICRISAT, 2010).



Représentation simplifiée du réseau trophique associé à des parcelles de gombo entourées de pois d'Angole : (1 et 2) le gombo et le pois d'Angole, tous deux producteurs primaires, sont consommés par la noctuelle ; (3) le pois d'Angole facilite la nutrition azotée du gombo ; (4) le gombo est consommé par les jassides ; (5 et 6) la noctuelle et les jassides, qui sont phytophages, sont consommées par des araignées prédatrices.

Au premier niveau trophique, on trouve le gombo et le pois d'Angole, attaqués tous deux par la noctuelle *Helicoverpa armigera* (ravageur « cible », au second niveau trophique), le gombo l'étant aussi par des piqueurs-suceurs, notamment *jassides Empoasca*, spp. peu dommageables car leur infestation se produit au stade végétatif quand la plante peut les compenser, et qu'ils ne sont pas vecteurs de maladies virales. De plus, cette infestation précoce entraîne une plus forte colonisation de la parcelle par des araignées (prédateurs généralistes), suivie d'une infestation moindre de ces mêmes parcelles par *H. armigera*. Le pois d'Angole pourrait ainsi favoriser, par une meilleure nutrition azotée (interaction trophique positive) le développement du gombo, le rendant plus attractif pour les jassides, qui attireraient elles-mêmes les araignées, qui régularaient elles-mêmes la noctuelle sur le gombo (en plus du seul effet attractif « *bottom-up* »).

En termes de traits fonctionnels par rapport au service régulation de la noctuelle, c'est le pois d'Angole, en particulier une variété extra-précoce, qui s'est révélé le plus prometteur par rapport aux deux autres plantes pièges évaluées, à savoir le sorgho et le coton.

Ainsi, les prédateurs sont plus abondants sur sorgho (fourmis, coccinelles et araignées, punaises Orius) mais le contrôle manuel est difficile du fait de la compacité des panicules, et la période d'attractivité est courte.

Sur le coton, la période d'attractivité est longue, mais avec peu de possibilité de régulation naturelle ou de contrôle manuel une fois que le « ver est dans le fruit ».

Sur pois d'Angole, il y a peu de prédateurs, mais la période d'attractivité est étendue et le contrôle manuel est facile. Avec en plus un effet bénéfique de la fixation d'azote, y compris par effets « en cascade », une régulation accrue de la noctuelle par des prédateurs généralistes directement sur le gombo.

On a donc là aussi des régulations par « lutte biologique de conservation », de type « *top-down* », avec des détournements attractifs différents selon que c'est le sorgho ou le pois d'Angole qui est utilisé comme plante piège de bordure.

4. Conclusions et perspectives

Cette approche systémique de re-conception par une intensification écologique fondée sur la diversification végétale des systèmes horticoles pour favoriser l'action des auxiliaires est aussi mise en œuvre en Martinique.

En arboriculture fruitière, il s'agit, sur la base de résultats obtenus en Guadeloupe (Le Bellec *et al.*, 2010 ; Mailloux *et al.*, 2010), d'étudier l'effet de l'introduction et de la gestion de différentes espèces de plantes en couvertures végétales dans les vergers sur la régulation des acariens ravageurs des agrumes (Tarsonèmes, Tétranyques et Phytoptes) par les acariens prédateurs Phytoséides.

En maraîchage, des premiers résultats sur l'utilisation du maïs comme plante piège pour protéger la tomate contre la noctuelle américaine *Helicoverpa zea*, ont permis le développement d'un modèle spatialement explicite individu-centré pour optimiser l'agencement spatio-temporel de la plante piège en vue d'une régulation par processus « *bottom-up* ». Des études sont également en cours en vue d'augmenter la régulation « *top-down* » sur la plante-piège, via des prédateurs généralistes comme les punaises Orius et des coccinelles.

Références citées

Ouvrages de synthèse recommandés

- Les dossiers d'*Agropolis internationale* n° 4 (« Lutte biologique, biodiversité et écologie en protection des plantes ») et n° 12 (« Agronomie : plantes cultivées et systèmes de culture »). <https://www.agropolis.fr/pdf/dossier-lutte-biologique.pdf>
- GRIFFON M. 2013. *Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ?* Éditions Quae, Versailles, France.
- DEGUINE J.-P., FERRON P., RUSSELL D. 2008. *Protection des cultures : de l'agrochimie à l'agroécologie*. Éditions Quae, Versailles, France.

Autres références citées

- ADANDONON A., VAYSSIÈRES J.F., SINZOGAN A., VAN MELE P. 2009. "Density of pheromone sources of the weaver ant *Oecophylla longinoda* (Hymenoptera Formicidae) affects oviposition behaviour and damage by mango fruit flies (*Diptera Tephritidae*)". *International Journal of Pest Management*, 55 : 285-292.
- CALTAGIRONE L.E., DOUTT R.L. 1989. "The history of the vedalia beetle importation to California and its impact on the development of biological control." *Ann. Rev. Entomol.*, 34 : 1-16.
- DEGUINE J.P., RATNADASS A. 2013. La gestion des habitats, pilier de l'agro-écologie. In : SAUVION N., CALATAYUD P.-A., THIÉRY D., MARION-POLL F. (eds.), *Interactions insectes-plantes*. Éd. IRD (Marseille) et Éd. Quae (Versailles), p. 721-732.
- HUANG H.T., PEI Y. 1987. "The ancient cultured citrus ant, a tropical ant is used to control insect pests in southern China." *Bioscience*, 37 : 665-671.
- ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) *Western and Central Africa Region. 2010. Towards greater impacts*. ICRISAT-Bamako BP. 320, Bamako, Mali. 64 pp.

- LE BELLEC F., MAILLOUX J., DUBOIS P., RAJAUD A., KREITER S., BOCKSTALLER C., TIXIER M.-S., MALÉZIEUX E. 2010. “Phytoseiid mites (Acari) are bio-indicators of agricultural practice impact on the agroecosystem functioning: the case of weed management in citrus orchards.” *In* : WERY J., SHILI-TOUZI I., PERRIN A. (eds.), *Proceedings of Agro 2010 : the XIth ESA Congress, August 29th-September 3rd, 2010, Montpellier, France, Montpellier, Agropolis international*, 157-158.
- MAILLOUX J., LE BELLEC F., KREITER S., TIXIER M.-S., DUBOIS P. 2010. “Influence of ground cover management on diversity and density of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in Guadeloupean citrus orchards.” *Experimental and applied acarology*, 52 (3) : 275-290.
- RATNADASS A., FERNANDES P., AVELINO J., HABIB R. 2012. “Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review.” *Agronomy for Sustainable Development*, 32 (1) : 273-303.
- RATNADASS A., BLANCHART E., LECOMTE P. 2013. « Interactions écologiques au sein de la biodiversité des systèmes cultivés. » *In* : *Cultiver la biodiversité pour transformer l'agriculture*. Éditions Quae, Versailles, France, pp. 147-183.
- RATNADASS A., BARZMAN M. 2014. “Ecological intensification for crop protection.” *In* : OZIER-LAFONTAINE H., LESUEUR-JANNOYER M. (eds.), *Agroecology and global change, Series Sustainable Agriculture Reviews* (E. Lichtfouse ed.), 14 (in press)
- VAN MELE P., VAYSSIÈRES J.F., ADANDONON A., SINZOGAN A. 2009. “Ant cues affect the oviposition behaviour of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Africa.” *Physiol Entomol*, 34 : 256-261.
- VAN MELE P., VAYSSIÈRES J.F., VAN TELLINGEN E., VROLIJKS J. 2007. “Effects of an African weaver ant, *Oecophylla longinoda*, in controlling mango fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Benin.” *J. Econ Entomol*, 100 : 695-701.
- VAYSSIÈRES J.F., ADANDONON A., SINZOGAN A., VAN MELE P. 2009. “Allies in nature.” *IITA-R4D Review*, Edition 3. September 2009, 31-33.
- VAYSSIÈRES J.F. 2012. *Tri-trophic relations between different food web structures about fruit flies in tropical fruit agroecosystems*. Habilitation à diriger des recherches. CIRAD-Hortsys. Université Paris Est, Paris, France, p. 158.
- WEZEL A., BELLON S., DORÉ T., FRANCIS C., VALLOD D., DAVID C. 2009. “Agroecology as a science, a movement and a practice. A review.” *Agron Sustain Dev*, 29 : 503–515.

Paysages et régulations biologiques

Impact de la structure paysagère sur les ravageurs et leurs ennemis naturels

Claire Lavigne
 Pierre Franck
 Jean-François Toubon
 Cécile Thomas
 Jean-Charles Bouvier
 Sandrine Maugin
 Jérôme Olivares

1. Paysage et protection des cultures p. 182
 2. Cas d'étude : les vergers de la basse vallée de la Durance p. 186
 3. Conclusion et perspectives p. 190
- Références citées p. 191

Si la plupart des pratiques de protection phytosanitaire relèvent de l'échelle de la parcelle cultivée, de nombreux ravageurs et auxiliaires exploitent au cours de leur cycle de vie un espace plus étendu, ici appelé « paysage ». Le paysage peut couvrir une surface bien supérieure à celle de la parcelle et sa structure est la résultante de processus biotiques et abiotiques et d'actions humaines. Nous nous intéressons ici au rôle possible de la gestion des paysages pour le contrôle des ravageurs.

1. Paysage et protection des cultures

Pourquoi s'intéresser au paysage ?

Le paysage est le support des réseaux trophiques observés dans les parcelles cultivées

La plupart des ravageurs et auxiliaires se dispersent au-delà des limites des parcelles cultivées. Pour les espèces spécialistes d'une culture, ces déplacements leur permettent de suivre la culture lors des rotations ou au fur et à mesure des récoltes lorsque celles-ci sont décalées dans le temps. Les dispersions saisonnières vers des hôtes non cultivés hors des parcelles permettent à de nombreuses espèces de pucerons d'exploiter plusieurs hôtes au cours de leur cycle de vie. Enfin, beaucoup d'espèces hivernent, se reproduisent ou s'alimentent en dehors des parcelles. Certains hyménoptères parasitoïdes peuvent par exemple bénéficier hors des parcelles de ressources complémentaires en pollen et nectar indispensables à leur développement.

Le paysage est donc le support des dynamiques des populations des ravageurs mais aussi des auxiliaires impliqués dans la régulation des ravageurs dans les parcelles cultivées. Cependant, les niveaux de régulations biologiques observés sur une parcelle sont aussi largement déterminés par les pratiques agricoles dans cette parcelle et, plus globalement, par les pratiques des agriculteurs sur l'ensemble du paysage. L'étude des facteurs qui impactent les niveaux de régulations biologiques nécessite donc des approches pluridisciplinaires, en particulier en écologie et agronomie.

Comment décrire un paysage ?

Deux principales caractéristiques du paysage sont à considérer (Fahrig et al., 2011)

- Sa composition : proportions des différents éléments qui le composent. À décliner selon les espèces étudiées pour prendre en compte les différentes ressources qu'elles utilisent et leurs complémentarités spatiales et temporelles éventuelles (ex. : sites d'hivernation).
- Sa configuration : comment ces différents éléments sont disposés les uns par rapport aux autres. La description doit considérer la capacité des espèces à se déplacer entre habitats aux moments où elles en ont besoin (obstacles, corridors, connectivité des éléments).

Des choix vont dépendre des espèces et questions étudiées

- L'étendue du paysage est à adapter aux capacités de dispersion des espèces.
- Les résolutions spatiales et temporelles sont à adapter selon le niveau de spécificité des espèces à leurs habitats.

En pratique

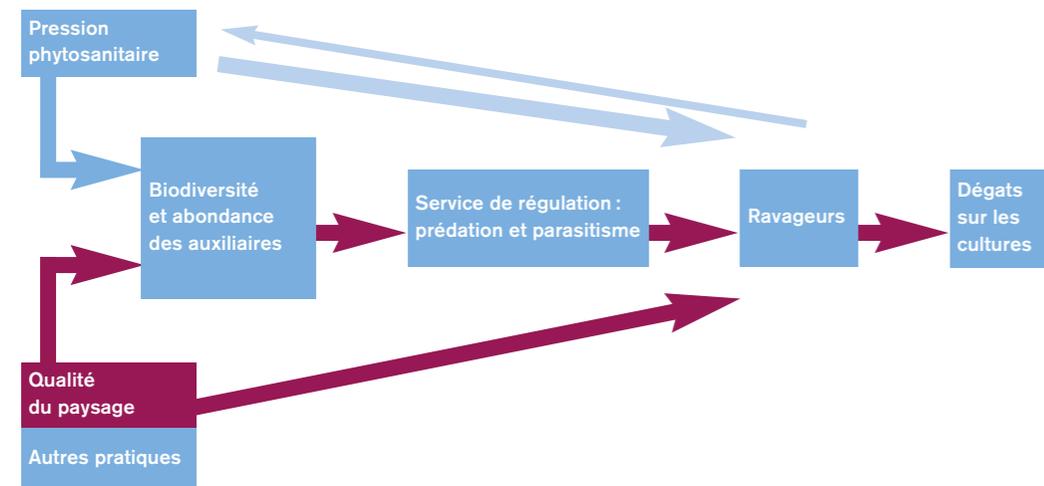
- Extraction d'information à partir de photos aériennes, satellites... et relevés de terrain.
- Retranscription sous forme plus ou moins simplifiée :
 - taches d'habitats,
 - taches d'habitats et qualité des espaces entre ces habitats,
 - mosaïque complète d'occupation ou d'usage des sols,
 - ...

La structure du paysage peut être un levier d'action en lutte biologique par conservation

La lutte biologique par conservation est une des méthodes qui pourrait contribuer à diminuer la pression phytosanitaire. Elle est fondée sur la conservation et la gestion des populations d'auxiliaires spontanément présents dans le paysage afin de renforcer leur action de régulation dans les parcelles cultivées. Le cercle vertueux dans lequel elle s'inscrit postule que la réduction de la pression phytosanitaire permettra une augmentation de la prédation et du parasitisme des ravageurs. Cependant, les caractéristiques du paysage peuvent avoir un impact direct sur les dynamiques des ravageurs ou un impact indirect sur ces dynamiques via les auxiliaires. Les effets d'une baisse de la pression phytosanitaire sur la régulation des ravageurs dépendront donc de l'ensemble des pratiques agricoles et de la qualité des paysages pour les auxiliaires et les ravageurs.

Interactions entre pratiques phytosanitaires, paysage et contrôle biologique par conservation

Les flèches rouges indiquent les effets directs et indirects de la qualité du paysage. Les flèches bleues indiquent les effets directs et indirects de la pression phytosanitaire.



Impact des caractéristiques des paysages sur les ravageurs et leurs ennemis naturels

Plusieurs résultats dans la littérature montrent que la diversité des arthropodes est moindre dans les paysages simplifiés que dans les paysages complexes. La perte de diversité associée à une simplification du paysage affecterait plus les auxiliaires que les ravageurs. On retrouve dans les paysages simplifiés surtout des pucerons, lépidoptères, acariens et orthoptères qui comprennent de nombreuses espèces de ravageurs, et des myriapodes et des araignées comme auxiliaires. Toutefois, cet effet de la simplification des paysages sur l'abondance et (ou) la diversité des auxiliaires n'a pas de conséquences claires sur les abondances de ravageurs ou les dégâts dans les parcelles cultivées (Tschamtker *et al.*, 2005 ; Chaplin-Kramet *et al.*, 2011).

La simplification d'un paysage correspond en fait à plusieurs changements parallèles : perte des éléments tels que haies, mares, murets..., augmentation de la taille des parcelles, perte de diversité des cultures. C'est la baisse de la proportion d'éléments semi-naturels dans le paysage qui expliquerait le mieux l'impact de la simplification sur les auxiliaires, plus que la forte proportion d'éléments cultivés (Chaplin-Kramet *et al.*, 2011). Par ailleurs, l'abondance d'une espèce de ravageur dans une parcelle d'une culture donnée peut varier positivement ou négativement avec l'abondance de cette culture dans le paysage (Veres *et al.*, 2013).

Comment étudier l'effet du paysage sur les régulations biologiques ?

Pour étudier ces processus complexes, plusieurs approches peuvent être utilisées

- Simplifier l'objet d'étude : considérer un ravageur et une ou deux espèces d'ennemis naturels majoritaires et chercher à comprendre comment ces espèces exploitent le paysage et quels leviers permettraient de favoriser une meilleure régulation.
- Maximiser la biodiversité : chercher les caractéristiques des paysages qui favorisent une grande diversité d'auxiliaires dans les parcelles car celle-ci tend à être positivement corrélée à la régulation des ravageurs (Letourneau *et al.*, 2009).
- Mesurer le niveau de régulation dans différents paysages : établir directement un lien entre prédation ou parasitisme des ravageurs et caractéristiques du paysage.

2. Cas d'étude : les vergers de la basse vallée de la Durance

La zone d'étude est située dans le nord des Bouches-du-Rhône au sud-est d'Avignon et couvre environ 70 km². Les vergers de fruits à pépins (pommes et poires) sont majoritaires et le paysage est caractérisé par un dense réseau de haies brise-vent majoritairement plantées en cyprès ou peuplier.

Nous avons étudié comment la structure du paysage et les pratiques des agriculteurs jouent sur l'abondance du carpocapse des pommes *Cydia pomonella* (Lepidoptera : Tortricidae), ainsi que sur son taux de prédation et parasitisme par des auxiliaires. Nos études ont porté sur une cinquantaine de vergers commerciaux de pommiers suivis chaque année depuis 2006.

Cydia pomonella, le carpocapse des pommes

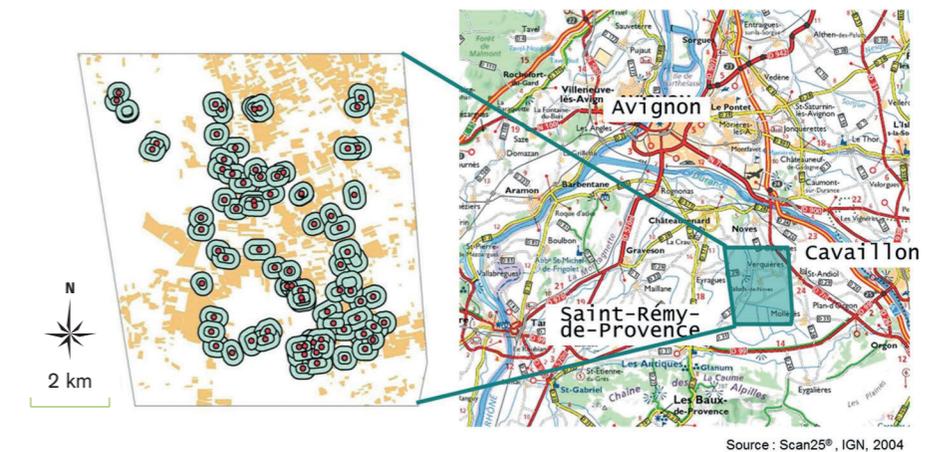
Le carpocapse des pommes est un ravageur majeur des pommiers. Les jeunes larves pénètrent dans les fruits et s'y développent en cinq stades successifs. Le carpocapse effectue deux ou trois générations par an dans le sud-est de la France. Il passe l'hiver sous forme de larves diapausantes protégées par un cocon, au sol ou sous l'écorce des arbres.



Variables explicatives

À l'aide d'une photo aérienne ortho-référencée fournie par l'IGN et de vérifications de terrain, nous avons cartographié cette zone dans un Système d'information géographique (SIG). Nous avons répertorié l'ensemble des vergers de fruits à pépins et des haies de la zone. Les autres occupations du sol ont été regroupées en cultures annuelles, autres cultures fruitières, bois, prairies et zones construites. Les routes et le réseau hydrographique ont été renseignés à partir de données de l'IGN. Les proportions de ces occupations du sol ont été calculées dans des zones concentriques de rayons allant de 50 m à 250 m autour de chaque parcelle échantillonnée.

Zone d'étude et localisation des vergers échantillonnés au moins une fois entre 2006 et 2010 avec les zones concentriques (50 m à 250 m) dans lesquelles le paysage est décrit. Les zones correspondant à l'habitat du carpocapse (vergers de fruits à pépins) sont représentées en orange pâle.



Source : Scan25[®], IGN, 2004

Grâce à des enquêtes auprès des agriculteurs, nous avons également pu évaluer le niveau d'utilisation des pesticides via l'indice de fréquence de traitements (un équivalent du nombre de traitements à pleine dose, IFT) des parcelles étudiées ainsi qu'établir la cartographie de tous les vergers en agriculture biologique dans la zone. Ces variables ont ensuite été mises en relation avec les données biologiques (Monteiro *et al.*, 2013 ; Maalouly *et al.*, 2013 pour plus de détails).

Quelques résultats

Impacts des pratiques et du paysage sur la prédation des œufs de carpocapse

Nous avons exposé des œufs de carpocapses dans des vergers commerciaux pour estimer un potentiel de prédation. Les taux de prédation varient entre 15 % et 75 %. Ils diminuent fortement avec une augmentation de la pression insecticide locale, mesurée par l'IFT. Ils sont également moins élevés dans les vergers entourés par une plus forte proportion de vergers conventionnels. En revanche, nous n'avons pas observé d'effet d'autres variables paysagères telles que les haies ou les bois (Monteiro *et al.*, 2013).

Impacts des pratiques et du paysage sur le parasitisme des larves diapausantes de carpocapse

De même, nous avons testé l'effet des pratiques phytosanitaires et de la présence d'éléments paysagers, soit au niveau de la parcelle elle-même, soit dans les 250 m qui entouraient la parcelle, sur le taux de parasitisme des larves diapausantes de carpocapse. Deux espèces d'hyménoptères parasitoïdes ont été retrouvées. De même que dans l'étude précédente, les taux de parasitismes diminuent avec l'augmentation de la pression insecticide, et sont plus faibles dans les vergers situés dans des zones du paysage avec de fortes proportions de vergers conventionnels. La présence de haies n'affecte pas le taux de parasitisme observé mais semble impacter la composition de la communauté des parasitoïdes (proportion d'hyperparasitoïde *Perilampus tristis* plus forte quand il y a localement moins de haies).

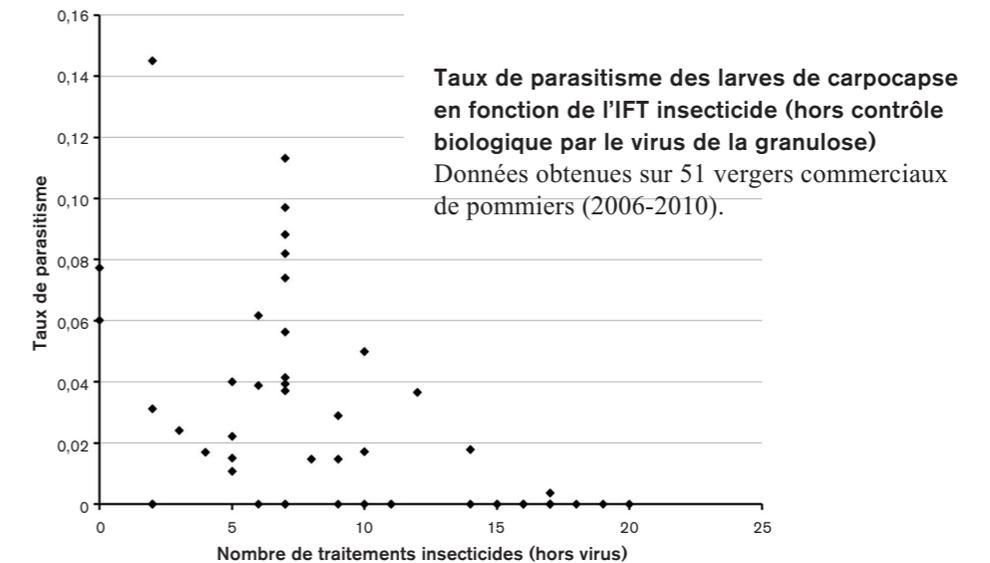
Ascogaster quadridentata (Braconidae)

Le parasitoïde le plus fréquent du carpocapse en basse vallée de la Durance.



Perilampus tristis (Perilampidae)

Hyperparasitoïde (parasitoïde de parasitoïde) de *C. pomonella* attaquant principalement *A. quadridentata*.



3. Conclusion et perspectives

Les régulations de ravageurs dans les parcelles dépendent en partie de la structure des paysages, y compris de la répartition des pratiques des agriculteurs dans ces paysages. Ces résultats montrent également qu'il y a des leviers locaux pour augmenter les régulations biologiques dans les parcelles : les haies agissent directement sur les densités de carpocapses dans les vergers (un point que nous n'avons pas abordé ici) et semblent favorables à sa régulation en limitant la proportion des hyperparasitoïdes.

Ces leviers locaux ne pourront être efficaces que si les paysages permettent le maintien d'une communauté d'auxiliaires suffisante. C'est donc l'interaction entre les pratiques locales et les caractéristiques du paysage qu'il convient de considérer pour renforcer la régulation biologique des ravageurs. Il faut également noter que les paysages agissent directement sur les dynamiques des ravageurs, un point que nous n'avons pas abordé ici. Enfin, les résultats observés sur un paysage donné ne peuvent pas être extrapolés directement à un autre paysage. Ils dépendent fortement de facteurs géographiques ou climatiques, mais également de l'intensité locale de l'agriculture, de l'organisation spatiale des éléments paysagers et de leurs évolutions au cours du temps.

Références citées

Articles de synthèse recommandés

- CHAPLIN-KRAMER R., O'ROURKE M.E., BLITZER E.J., KREMEN C. 2011. *Ecol. Lett.*, 14 : 922-932.
- FAHRIG L., BAUDRY J., BROTONS L., BUREL F.G., CRIST T.O., FULLER R.J., SIRAMI C., SIRIWARDENA G.M., MARTIN J.-L., 2011. *Ecol. Lett.*, 14 : 101-112.
- LETOURNEAU D.K., JEDLICKA J.A., BOTHWELL S.G., MORENO C.R. 2009. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 40 : 573-592.
- TSCHARNTKE T., BOMMARCO R., CLOUGH Y., CRIST T.O., KLEIJN D., RAND T.A., TYLIANAKIS J.M., VAN NOUHUYS S., VIDAL S. 2007. *Biol. Control*, 43 : 294-309.
- TSCHARNTKE T., KLEIN A.M., KRUESS A., STEFFAN-DEWENTER I., THIES C., 2005. *Ecol. Lett.*, 8 : 857-874.
- VERES A., PETIT S., CONORD C., LAVIGNE C. 2013. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 166 : 110-117.

Autres références citées

- MAALOUY M., FRANCK P., BOUVIER J.C., TOUBON J.F., LAVIGNE C. 2013. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 169 : 33-42.
- MONTEIRO L.B., LAVIGNE C., RICCI B., FRANCK P., TOUBON J.F., SAUPHANOR B. 2013. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 166 : 86-93.

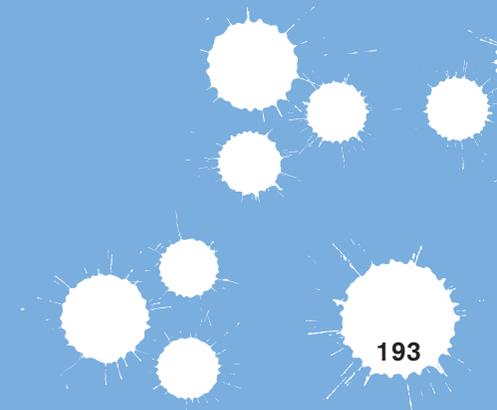
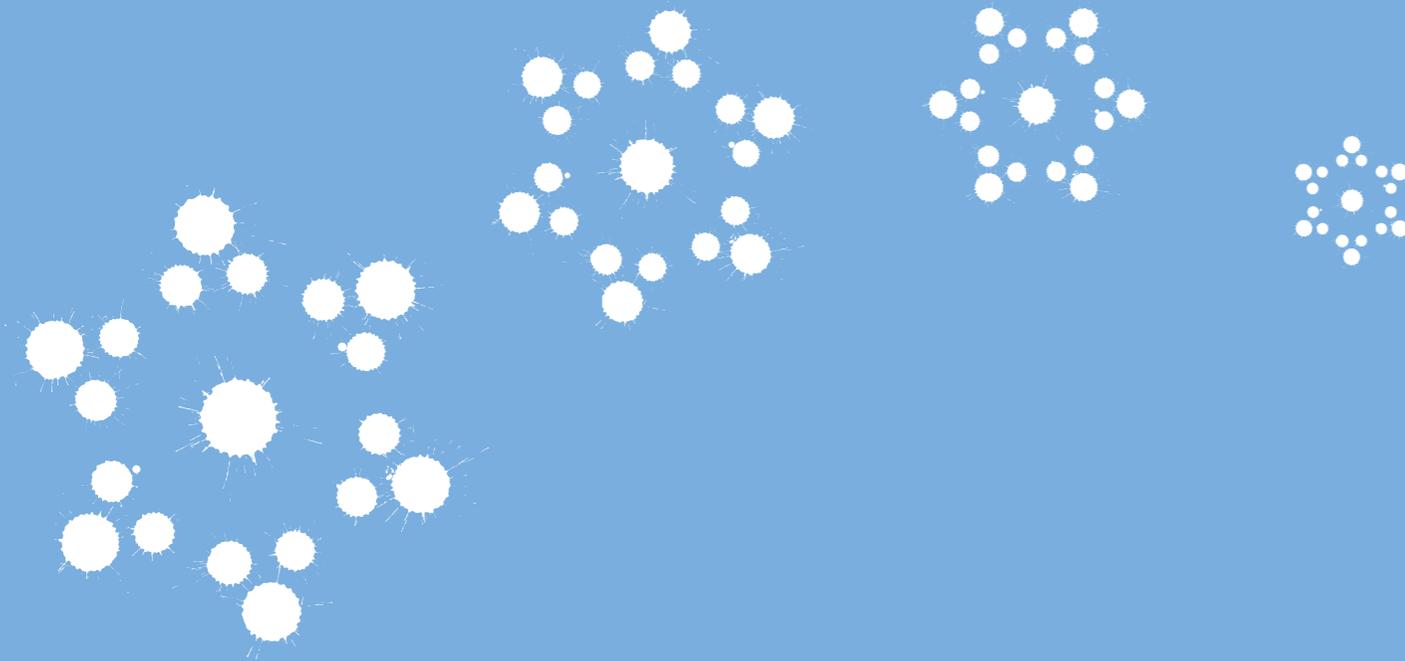
Socio-économie et innovations

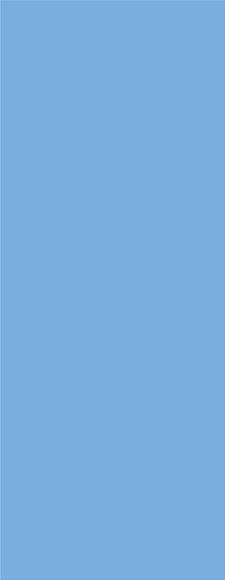
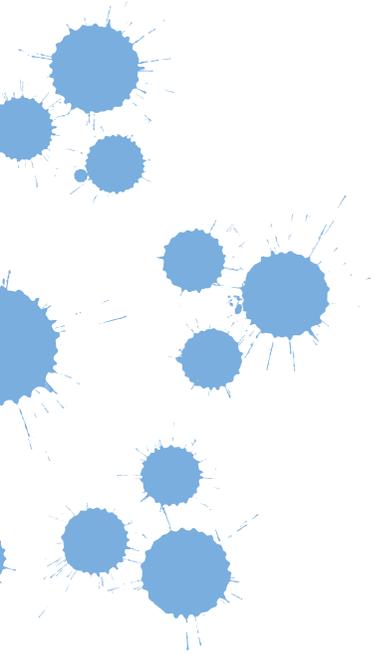
**Bases socio-économiques de la conception
de systèmes horticoles écologiques innovant (SHEI)** p. 195

**Spécificités socio-économiques des systèmes horticoles
écologiquement innovants (SHEI) en Afrique de l'Ouest** p. 211

Les dimensions sociologiques des innovations :
une approche dynamique p. 219

Valorisation commerciale d'une agriculture durable de proximité p. 233





Bases socio-économiques de la conception de systèmes horticoles écologiques innovants (SHEI)

Laurent Parrot
Ludovic Temple

1. Quelques principes d'économie générale p. 197
 2. Implications méthodologiques des SHEI p. 198
 3. Approches procédurales et constructivistes de l'innovation p. 203
 4. Conclusion p. 207
- Références p. 208

« Les mutations qui caractérisent l'évolution des sociétés humaines et le regard que les hommes portent sur l'Univers s'expriment sur le plan économique par des systèmes explicatifs, des modes d'organisation et des programmes d'action différents. » (Passet, 2010.)

Les cultures horticoles sont généralement considérées comme des cultures à haute valeur ajoutée. L'urbanisation et les changements de régimes alimentaires en leur faveur ont ainsi un secteur en forte croissance mais aussi un enjeu de développement durable (Parrot *et al.*, 2008). En effet, les cultures horticoles sont consommatrices de produits de synthèse, source de pollution pour l'environnement et dangereux pour la santé (de Bon *et al.*, 2014). Il s'agit donc d'identifier et de promouvoir des alternatives aux pratiques intensives. Les enjeux ne sont donc pas uniquement économiques et sociaux mais aussi institutionnels (Touzard *et al.*, 2014).

1. Quelques principes d'économie générale

L'économie peut être considérée comme l'étude de la façon dont les sociétés utilisent des **ressources rares** pour produire des biens ayant une **valeur** et les **répartir** entre les individus. L'usage de ressources rares nécessite la mise en place de systèmes de production efficaces. Une économie produit de façon **efficace** quand elle peut accroître le bien-être économique de quelqu'un sans dégrader le sort de quelqu'un d'autre (Samuelson, 2005).

Les trois problèmes dans le courant de l'analyse néoclassique de l'économie, qui situe le marché comme institution centrale de coordination des agents, consistent à répondre aux questions suivantes : quelles marchandises seront produites et en quelles quantités ? Comment et pour qui les biens seront-ils produits ?

Les agriculteurs disposent pour cela de stocks de capitaux : le capital naturel (écosystèmes naturels) qui produit des biens ou des services éco-systémiques, le capital physique (ressources produites par l'homme), le capital financier (épargne, crédit, investissement, subventions, pensions, etc.). Certains capitaux sont moins tangibles, il s'agit notamment du capital social (normes, valeurs, réciprocity, solidarité, confiance, coopération, etc.) et le capital humain (connaissances, savoirs traditionnels, technicité, santé, etc.).

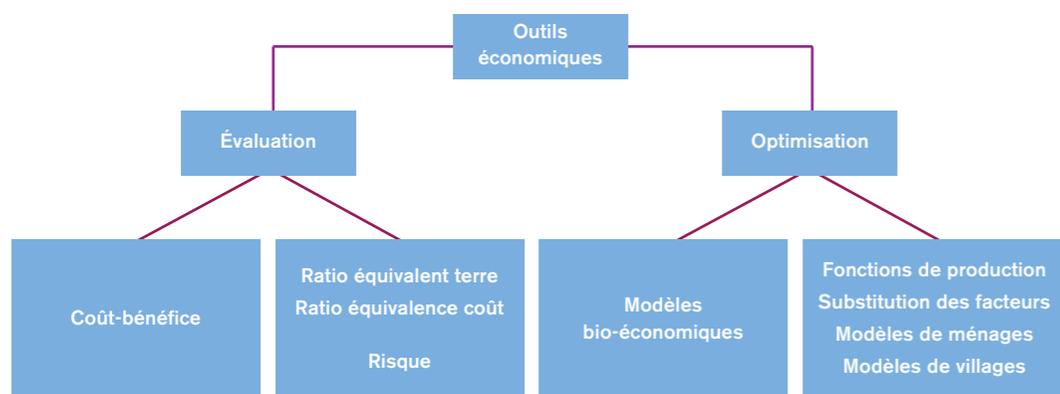
Dans le cadre des SHEI et des innovations agro-écologiques, on peut poser pour hypothèse que les objectifs économiques de l'agriculteur consistent à protéger et renouveler les ressources naturelles et optimiser les combinaisons de facteurs en faveur de la rémunération du ménage et en particulier du travail (Uphoff, 2002). Les considérations de l'agriculteur sont la rentabilité espérée dans le calcul des revenus du ménage, les implications de l'efficacité des intrants, les conséquences en termes d'effets de substitution et de travail, la gestion du risque et la durabilité de l'exploitation.

2. Implications méthodologiques des SHEI

Les outils d'évaluation

Différents outils économiques sont disponibles pour évaluer les SHEI. Les analyses coûts-bénéfices sont nécessaires mais non suffisantes car elles ne permettent pas d'intégrer les externalités ni de représenter fidèlement la diversité des pratiques agricoles.

Figure 1 – Les méthodes d'évaluation et d'optimisation (adapté de Wojtkowski, 2010)



Les modèles d'optimisation positionnés sur différentes échelles géographiques d'analyses de la parcelle aux territoires mettent en évidence les interactions indirectes entre différents secteurs économiques ainsi que les impacts sociaux d'un changement technique. La limite inhérente à l'ensemble des méthodes d'évaluation et d'optimisation est liée à leur approche monétaire, nécessaire mais insuffisante à l'heure actuelle pour intégrer les **externalités**.

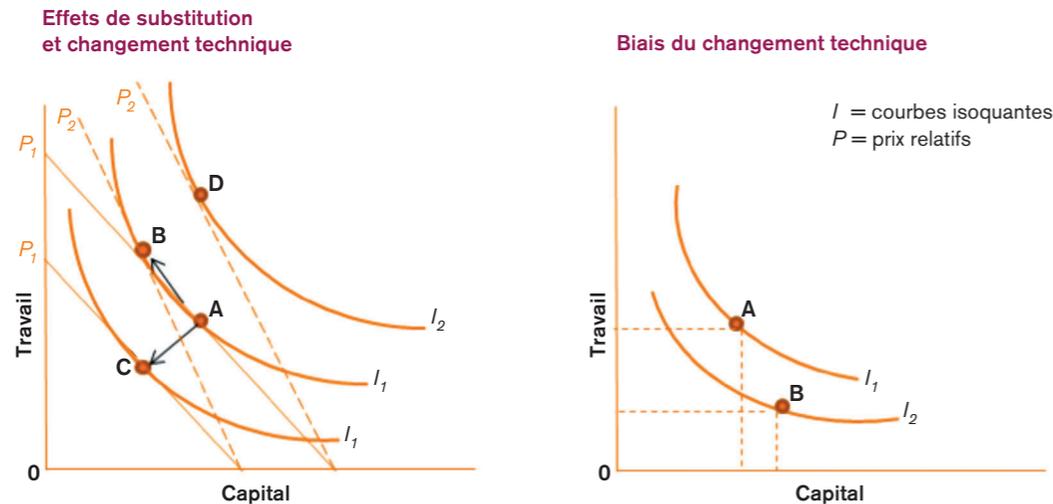
Quelles politiques d'appui ? (adapté de Uphoff, 2002)

Critère	Outils	Politiques d'appui	Implications
• Rentabilité	• Analyse coûts-bénéfices, etc.	• Coûts des intrants, prix des marchés • Infrastructures	• Hausse des revenus • Baisse des coûts de transaction
• Efficacité intrants	• Fonctions de production	• Intrants complémentaires • Prix relatifs qui reflètent la productivité marginale • Formation et vulgarisation	• Amélioration des retours sur investissement • Accès connaissance-information
• Substitution des facteurs	• Modèles de ménages	• Accès au crédit • Soutien au capital social • Nouvelles technologies	• Investissement • Partage des connaissances
• Gestion du risque	• Analyse du portefeuille	• Stabilisation des prix • Appui aux activités non agricoles • Formation scolaire	• Stabilité des revenus • Amélioration de la propension à investir • Diversification des revenus • Travail non agricole
• Durabilité	• Bio-économie	• Droits de propriété foncière	• Garanties aux prêts

Les politiques d'appui sont destinées à favoriser l'adoption des principes des SHEI par l'amélioration du fonctionnement des marchés mais leur rôle consiste aussi à consolider le capital humain par la formation et le capital social.

Les approches basées sur l'optimisation illustrent de façon conceptuelle les effets de substitution et de changement techniques provoqués par les changements de prix relatifs. Sur la base d'hypothèses micro-économiques restrictives de substitution entre facteurs (les intrants peuvent être combinés en différentes quantités pour produire la même quantité de biens), les courbes isoquantes représentent l'ensemble des combinaisons d'intrants possibles pour une quantité de biens produite donnée.

Figure 2 – Substitution des facteurs de production, changement technique et biais du changement technique (Ellis, 2000)



La figure 2 ci-dessus illustre deux catégories de changement :

1. Un effet de substitution. Une variation des prix relatifs (par exemple une baisse du prix du facteur travail) provoque une augmentation de la production et un effet de substitution. Premier cas, la baisse du prix relatif du travail permet de le substituer à celui du capital pour un même niveau de production (passage de A vers B). Deuxième cas, à coût total équivalent, la production augmente et se reporte sur I_2 (passage de A vers D).

2. Un changement technique. Pour un même niveau de facteurs la production augmente ou inversement, à production égale la quantité de facteurs diminue et ceci quel que soit le niveau des prix relatifs. Cela signifie que l'efficacité ou la productivité de l'un (ou plusieurs) des facteurs s'est améliorée. Cela se traduit soit par la mesure de l'augmentation de la production à partir du même niveau de facteurs, soit à production égale par la mesure de la baisse des coûts totaux à prix constant (passage de A vers C).

Le schéma de droite montre un biais en faveur du travail. Une petite augmentation en capital entraîne une baisse plus que proportionnelle en travail. L'innovation est neutre lorsque le ratio des facteurs est le même avant et après le changement à prix donnés.

Pour aller plus loin, ces représentations illustrent un élément de dynamique du changement technique. Les prix relatifs incitent les institutions de recherche et les entreprises à développer des innovations qui permettent de réduire les coûts des ressources les plus chères ou les plus rares.

Les déclinaisons diffusionnistes pour l'adoption de SHEI

Si sous l'angle économique les estimations en termes d'efficacité sont nécessaires, elles ne sont pas suffisantes pour assurer la diffusion de SHEI. Par exemple, une définition de l'innovation issue de la sociologie rurale anglo-saxonne insiste sur l'irrationalité des agents et présente l'innovation comme « une idée, une pratique, ou un objet **perçus** comme nouveau pour un individu ou une unité de décision » (Rogers, 2003). La notion de perception est au centre de cette approche dont on peut extraire quelques conséquences pour les SHEI :

- les innovations en général sont soumises à l'incertitude et sont donc sources de **risques** ;
- la capacité d'un SHEI à **s'adapter** aux pratiques courantes des agriculteurs facilitera son adoption et sa diffusion (Sotamenou et Parrot, 2013) ;
- le capital humain devient un élément central de la conception des SHEI (Uphoff, 2002). Les savoirs traditionnels et l'expérience s'inscrivent dans une démarche intergénérationnelle (Mendez *et al.*, 2013) ;

■ les SHEI ont cette particularité de s’inscrire dans la catégorie des **innovations préventives** c’est-à-dire destinées à réduire la probabilité d’un événement futur non désiré. C’est le cas par exemple des jachères améliorées dont les résultats sur les rendements ne sont généralement que tardivement positifs (Blazy, 2010). Cette particularité complique les processus d’adoption.

Avec les SHEI nous sommes en général dans une situation où les processus de diffusion évoluent en parallèle avec les actions de prototypage en stations et en milieu réel (Le Bellec, 2012). L’objectif consiste alors à identifier de manière participative les meilleures actions à réaliser pour estimer la diffusion potentielle des innovations.

Il existe peu de revues de la littérature en matière de déterminants à la conversion en faveur de SHEI. Un exemple de ce type de revue de la littérature en économie sur l’agriculture biologique dans le monde montre que très peu de variables observables ont des comportements univoques quelles que soient les filières où les régions concernées (Géniaux *et al.*, 2010). L’âge, et corrélativement le niveau de formation agricole dans cette étude, semble être la seule caractéristique observable pour laquelle les résultats sont univoques : plus les agriculteurs sont jeunes et formés plus ils ont de chances de se convertir à l’agriculture biologique. Ce résultat reste cependant controversé dans d’autres travaux.

L’une des raisons qui explique la difficulté à intégrer et hiérarchiser les déterminants est liée à la nature des innovations impliquées. Dans le cas de l’agriculture biologique, et sans doute également pour les SHEI, la taille des échantillons est en général très faible donc statistiquement difficile à traiter et souvent représentative uniquement pour des territoires ou des zones agro-écologiques restreintes.

Si l’objet de l’économie vise à **améliorer les conditions de vie de manière durable** des sociétés humaines, il convient alors de bien distinguer ce qui relève de l’économie positive et de ce qui relève de l’économie normative. Les politiques publiques cherchent dans ce contexte à résoudre les questions d’équité (inégalités, exclusions) et d’efficacité.

Le rôle des **marchés** est bien entendu aussi à prendre en considération, l’objectif étant de réduire leur importance pour les facteurs que l’on souhaite préserver et au contraire d’améliorer leurs effets pour les facteurs que l’on souhaite promouvoir. Mais dans les cas où les marchés sont inexistantes ou imparfaits, les innovations ne sont plus seulement **techniques** mais aussi **institutionnelles**.

3. Approches procédurales et constructivistes de l’innovation

Les conceptions linéaires et diffusionnistes de l’innovation sont cependant aujourd’hui mises en cause par les approches procédurales et constructivistes de l’innovation (Lemasson *et al.*, 2006 ; Laperche, 2008) et le courant institutionnel de l’économie de l’innovation (Martin, 2012) ou de la sociologie des sciences (Goulet, 2012). Nous examinons brièvement avec ce référentiel les limites des modèles linéaires et proposons d’introduire aux démarches contemporaines systémiques des processus d’innovation (Touzard *et al.*, 2014).

Limites et controverses des modélisations économiques des SHEI

À un premier niveau, les hypothèses de bases de l’analyse néoclassique sont peu vérifiées, notamment en agriculture. Ainsi par exemple l’hypothèse d’un agriculteur optimisateur d’une fonction de production par rapport à un objectif de maximisation du revenu monétaire est plus ou moins vérifiée selon les types d’exploitation (familiale, entreprise), selon les sociétés humaines liées aux contextes socioculturels différents, selon les territoires ou les périodes (cycle de vie de l’exploitation par exemple), selon l’importance des externalités sociales et environnementales liées qui génèrent des « coûts cachés ».

L'hypothèse d'une substituabilité des facteurs de production dans un modèle à deux facteurs est peu adaptée à une fonction de production qui fait intervenir trois facteurs (terre, travail, capital). Elle suppose aussi une homogénéité de ces facteurs qui se vérifie peu. Ainsi par exemple l'intensification en capital dans les systèmes horticoles (serre, énergie) se traduit par une augmentation de l'intensité en travail, dans certains cas des transitions qualifiées d'agro-écologie conduisent à réaliser des substitutions entre différentes formes de capitaux. Ainsi par exemple l'extension de l'agriculture de conservation peut se traduire par plus de mécanisation et un accroissement d'usage d'herbicides en relation avec une diminution d'insecticides (exemple de l'Argentine ; Goulet, 2012).

À un second niveau les imperfections de marchés génèrent des coûts de transaction dont il faut pouvoir tenir compte. Ces imperfections impliquent alors de révéler ces coûts de transaction et des innovations institutionnelles comme par exemple la certification de la qualité, la gestion des risques par les politiques publiques (Sylvander, 1997).

À un troisième niveau les mécanismes d'adoption fondés sur la diffusion de paquets techniques construits sur de nouvelles variétés (hybrides, OGM, etc.) sont face à un nombre d'échecs croissants dans différents contextes mais particulièrement dans ceux de l'agriculture familiale qui concentre la population agricole mondiale. Ces mécanismes d'adoptions ne sont pas stables dans le temps ni homogènes dans l'espace. Leur réussite est souvent liée à une co-construction partenariale de processus d'innovation (Temple *et al.*, 2012), des politiques publiques d'innovation structurant des rendements croissants d'adoption (Penin, 1994). Elle est pour partie tributaire d'apprentissages collectifs. Elle dépend également d'effets de *spillovers* (externalités technologiques) de choix technique qui peuvent se situer en amont ou en aval de l'activité de production agricole.

Émergence des modèles systémiques d'analyse des processus d'innovation

Au regard des limites précédentes, les nouveaux développements théoriques en économie et sociologie de l'innovation (Geels, 2004) soulignent sa dimension systémique et le caractère déterminant des institutions, des organisations et des processus de co-construction qui structurent des trajectoires technologiques, des routines, des irréversibilités ou des verrous technologiques. La connaissance de ces différentes dimensions est nécessaire pour changer les bases cognitives qui structurent la conception d'innovations qui écologisent la fonction de production en agriculture, au sein des institutions de recherche, mais également des sociétés rurales et des entreprises. La structure et la fonctionnalité des interfaces entre les différents acteurs sont notamment explorées par la sociologie des réseaux.

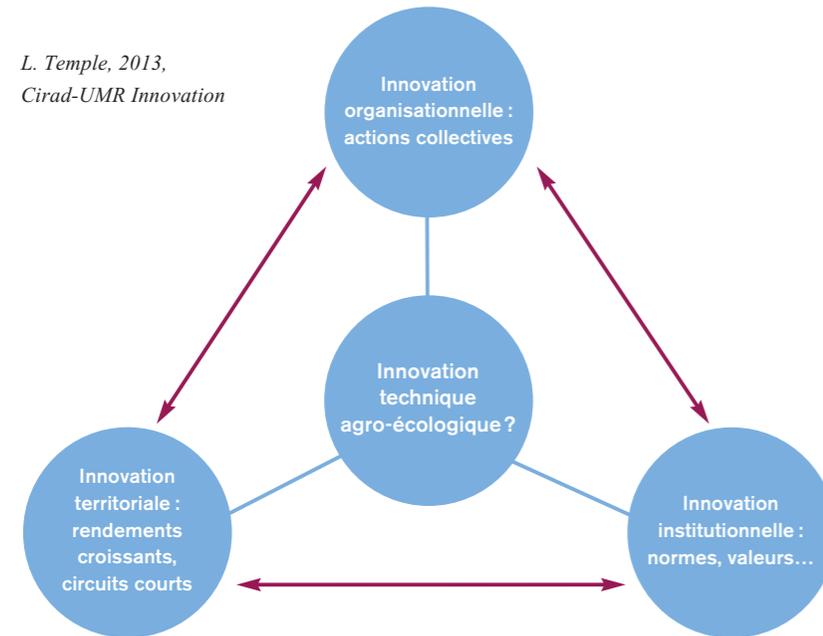
Ces approches ne conduisent plus à modéliser les SHEI au niveau des exploitations, de village ou de secteur en fonction d'hypothèses comportementales préalables proposées par la science économique néo-classique. Elles proposent, par contre, de créer des cadres analytiques différents pour comprendre les déterminants de changement de paradigmes technologiques qui expliquent les transitions de régimes sociotechniques ou les révolutions technologiques. Les hypothèses comportementales de rationalité ne sont plus prédéterminées mais résultent de mécanismes de découverte inductifs.

Illustrées dans d'autres travaux de recherches, ces orientations ont pour objet de circonscrire les leviers d'action des transitions écologiques de l'agriculture à travers des politiques d'innovation et de recherche autour de trois ensembles de variables qui structurent le fonctionnement des systèmes d'innovation et la compréhension des processus, respectivement sur :

- **les institutions** au sens large : normes, valeurs collectives, règles ;
- **les organisations** qui structurent les interfaces entre les parties prenantes de l'innovation que sont les pouvoirs publics, les entreprises du secteur agricole et agro-alimentaire, les actions collectives des agriculteurs ;
- **les déterminants territoriaux** de l'innovation structurés par les systèmes de production localisés, les rendements croissants, la structuration des filières qui conditionnent les conditions d'accès aux facteurs de production tangibles (intrans, capital physique) et intangibles (informations et connaissances).

Modèle systémique de l'innovation agro-écologique ?

L. Temple, 2013,
Cirad-UMR Innovation



La transition écologique de la fonction de production du secteur agricole et agro-alimentaire peut ainsi résulter de deux trajectoires possibles que permettent de référencer et d'analyser les démarches systémiques.

■ **Une trajectoire d'évolution des systèmes actuels** qui mobilise la recherche scientifique pour corriger les externalités négatives liées à l'usage des intrants de synthèse. L'utilisation d'OGM, de bio-pesticides est présentée dans cette trajectoire comme un levier d'action pour l'écologisation des systèmes innovants. Levier fortement controversé dans des travaux récents (Fok, 2014). Cette trajectoire privilégie la science et la technologie comme source principale de la conception des SHEI. L'artificialisation croissante de la fonction de production en est une résultante. La concentration nécessaire au rendement d'échelle et la dépendance technologique des agriculteurs en est une autre.

■ **Une trajectoire plus radicale de rupture technologique** portée pour partie par les travaux se référant à l'agro-écologie. Cette démarche met plus au centre du changement technologique les démarches d'accompagnement des processus d'innovation initiées par les sociétés rurales dans la valorisation des ressources des éco-systèmes locaux. Elle conduit à proposer une définition de l'innovation agro-écologique (Temple et *al.*, 2014).

Les mécanismes d'articulation de ces deux trajectoires (hybridation, concurrence, juxtaposition) structurent un certain nombre d'activités de recherche en cours.

4. Conclusion

Si les modèles économiques de gouvernance de l'innovation dominants structurent les conditions institutionnelles actuelles d'élaboration des systèmes horticoles écologiquement innovants ils sont face à des incomplétudes méthodologiques et des controverses conceptuelles sur la pertinence des référentiels théoriques mobilisés.

Ces incomplétudes et controverses interpellent la capacité de processus d'innovation actuels à réellement structurer une transition écologique de la fonction de production en agriculture. Cette transition exige de fait des changements dans les modèles d'innovation mobilisés et de nouveaux fronts de recherche tant disciplinaires au sein des sciences sociales entre la sociologie, l'économie les sciences politiques, qu'entre les sciences sociales et les sciences agronomiques.

Références citées

Ouvrages de synthèse recommandés

- GENIAUX G., LATRUFFE L., LEPOUTRE J., MZOUGHU N., NAPOLÉONE C., NAUGES C., SAINTE-BEUVE J., SAUTERAU N. 2010. *Les Déterminants de la conversion à l'AB : une revue de la littérature économique*. 20 p.
- LEMASSON P., WEIL B., HATCHUEL A. 2006. *Les Processus d'innovation*. Collection Lavoisier.
- LAPERCHE B. 2008. *L'Innovation pour le développement. Enjeux locaux et opportunités locales*. Édition Karthala.
- MÉNDEZ V.E. et al. 2012. "Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-Oriented Approach." *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37 (1) : 3-18.
- PARKS S., GOWDY J. 2013. "What have economists learned about valuing nature? A review essay." *Ecosystem Services*, 3 (0) : e1-e10.
- ROGERS E.M. 2003. *Diffusion of Innovations*, 5th Edition, Free Press. 550 p.
- UPHOFF N.T. 2002. *Agroecological Innovations: Increasing Food Production With Participatory Development*, Earthscan Publications.
- SAMUELSON P.A. et al. 2005. *Économie*, Economica.
- WOJTKOWSKI P. 2010. *Agroecological Economics: Sustainability and Biodiversity*, Elsevier Science.

Autres références citées

- BLAZY J.M., TIXIER P., THOMAS A., OZIER-LAFONTAINE H., SALMON F., WERY J. 2010. "BANAD: A farm model for ex ante assessment of agro-ecological innovations and its application to banana farms in Guadeloupe." *Agricultural Systems*, 103 (4) : 221-232.

- DE BON H., PARROT L., MOUSTIER P. 2010. "Sustainable Urban Agriculture in developing countries. A review." *Agronomy for sustainable development*. 30, 21-32.
- DE BON H., HUAT J., PARROT L., SINZOGAN A., MARTIN T., VAYSSIÈRES J.-F., MALÉZIEUX E. 2014. "Pesticide risks from fruit and vegetable pest management by small-farmers in sub-Saharan Africa. A review." *Agronomy for Sustainable Development*. Sous presse.
- ELLIS F. 2000. *Peasant Economics*. Cambridge University Press. 2nd edition.
- FOK M. 2014. *Au fil du coton : approche systémique d'une production par l'histoire, l'économie et les innovations institutionnelles et technologiques*. Rapport Hdr, EDEG Université Montpellier, Cirad.
- FRANCIS C., BRELAND, TOR ARVID, ØSTERGAARD, EDVIN, LIEBLEIN, GEIR, MORSE S. (2012). "Phenomenon-Based Learning in Agroecology: A Prerequisite for Transdisciplinarity and Responsible Action." *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37 (1) : 60-75.
- GOULET F., VINCK D. 2012. "L'innovation par retrait. Contribution à une sociologie du détachement." *Revue française de sociologie*, 53 (2) : 195-224.
- KLERKX L., MIERLO (VAN) B., LEEUWIS C. 2012. "Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions." In DARNHOFFER I., GIBBON D., DEDIEU B. (eds.), *Farming Systems Research into the 21st Century*. Springer.
- LE BELLEC F., RAJAUD A., OZIER-LAFONTAINE H., BOCKSTALLER C., MALEZIEUX E. 2012. "Evidence for farmers' active involvement in co-designing citrus cropping systems using an improved participatory method." *Agronomy for sustainable development*, 32 (3) : 703-714.
- MARTIN B. 2012. "The evolution of science policy and innovation studies". *Research Policy*, 41, 1219-1239.
- MÉNDEZ V. E., BACON C.M., COHEN R. 2013. "Agroecology as a Transdisciplinary, Participatory, and Action-Oriented Approach." *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 37 (1) : 3-18.
- PARROT L., DONGMO C., NDOUMBÉ M., POUBOM C. (2008a). "Horticulture, livelihoods, and urban transition in Africa : Evidence from South-West Cameroon." *Agricultural Economics*, 39 n.2 : 245-256.
- PASSET R. 2010. *Les grandes représentations du monde et de l'économie à travers l'histoire : De l'univers magique au tourbillon créateur*, Éditions Les Liens qui libèrent.

- PERNIN J.-L. 1994. « Réseaux et rendements croissants d'adoption dans l'agriculture biologique en France. » *In Revue d'économie industrielle*. Vol. 70. 4^e trimestre 1994, p. 49-71, doi : 10.3406/rei.1994.1547.
- SYLVANDER B. 1997. « Le rôle de la certification dans les changements de régime de coordination : l'agriculture biologique, du réseau à l'industrie. » *In Revue d'économie industrielle*. Vol. 80. 2^e trimestre 1997, p. 47-66, doi : 10.3406/rei.1668.
- SOTAMENOU J., PARROT L. 2013. "Sustainable urban agriculture and the adoption of composts in Cameroon." *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11 (3) : 282-295.
- TEMPLE L., BOYER J., BRIEND A., DAMÉUS A. 2014. « Les conditions socio-économiques de l'innovation agro-écologique pour la sécurisation alimentaire dans les jardins agroforestiers en Haïti. » *Field Actions Science Reports. Special Issue 9*. <http://factsreports.revues.org/2817>.
- TOUZARD J.M., TEMPLE L., FAURE G., TRIOMPHE B. 2014. « Systèmes d'innovation et communautés de connaissances dans le secteur agricole et agroalimentaire », *Innovations*, n° 43, p. 13-38. DOI : 10.3917/inno.043.0013.

Spécificités socio-économiques des systèmes horticoles écologiquement innovants (SHEI) en Afrique de l'Ouest

Faustin Vidogbena

1. Mission et défis des innovations agricoles en Afrique p. 212
 2. Conception des innovations agricoles en Afrique p. 213
 3. Définition adaptative de l'innovation p. 214
 4. Que retenir ? p. 217
- Références p. 217

1. Mission et défis des innovations agricoles en Afrique

En Afrique, l'innovation agricole constitue la base d'une amélioration de l'efficacité, de la productivité et de la création de la valeur ajoutée (Pool et Buckley, 2006). Les innovations agricoles ont pour mission de relever le défi de la croissance démographique (UNDP, 2011) et des changements climatiques. Cependant, elles doivent être adaptées aux contextes agro-écologique, socio-économique et culturel des **exploitations agricoles familiales (EAF)**, forme de production dominante de la région (Zoundi *et al.*, 2005).

Les systèmes horticoles sont fréquents dans les zones urbaines et péri-urbaines en forte croissance (Parrot *et al.*, 2008 ; de Bon *et al.*, 2010). Ce sont d'abord des cultures à haute valeur ajoutée adaptées à la mise en valeur de petites surfaces. Ensuite, elles se positionnent à proximité des villes à cause de leur périssabilité et du manque d'infrastructures de conservation des produits récoltés.

Les EAF sont caractérisées par leur faible accès aux ressources productives et vulnérables de par leur dépendance aux conditions naturelles et leur faible influence sur le marché (Toulmin et Guèye, 2003). En Afrique de l'Ouest, les EAF se distinguent par de petites superficies, une faible intégration dans les marchés, des stratégies de sauvegarde et d'amélioration de la ressource-terre, une aversion au risque, le recours abondant à la main-d'œuvre familiale, le lien fort avec la communauté, et enfin le mode de faire-valoir de la terre essentiellement basé sur l'héritage et d'autres arrangements sociaux.

Les objectifs de l'EAF sont donc prioritairement orientés vers la subsistance et la diversification agricole.

Les EAF en Afrique de l'Ouest sont agro-écologiques si l'on considère que l'usage des engrais et des produits phytosanitaires est bien au-dessous des préconisations de la FAO. Il existe cependant de très fortes disparités. En ce qui concerne les systèmes horticoles, les systèmes intensifs dans les zones urbaines et péri-urbaines entraînent l'usage de très grandes quantités de produits phytosanitaires. Le manque de formation et d'information des agriculteurs ou tout simplement des contraintes de survie, provoquent un usage inconsidéré de ces produits (de Bon *et al.*, 2010).

2. Conception des innovations agricoles en Afrique

Après les approches des périodes dites coloniales et néo-coloniales qui imposaient à la fois technologies et cultures, les processus d'innovations en Afrique reposent sur le paradigme de participation (Zhou, 2012). Ces processus mettent en œuvre une approche multi-acteurs où la collaboration se fait à travers les systèmes nationaux de recherche agricole regroupant les chercheurs, les vulgarisateurs et les producteurs. Les vulgarisateurs recensent les contraintes émergentes au développement agricole au sein des EAF par le biais par exemple du diagnostic d'exploitation ou de l'approche participative niveau village (Otchoun, 2004). Les contraintes, remontées à la recherche, déclenchent un processus d'élaboration d'une nouvelle technologie parfois basé sur les succès locaux. Le résultat qui en ressort est introduit dans les EAF pour adoption. Le fonctionnement des systèmes présente des variantes selon le contenu donné à l'innovation.

3. Définition adaptative de l'innovation

Approches « Top-down révélées » de processus d'innovation

La définition de Schumpeter (*in* Lavigne Delville *et al.*, 2004) se prête mieux aux processus d'innovation des années 1960 à 1980. Elle stipule que l'innovation est une nouvelle pratique qui entraîne une combinaison nouvelle de facteurs, dans une région ou dans une exploitation donnée. Sous cette définition ont émergé les paradigmes de développement agricole dominés par la diffusion des innovations et le transfert de technologies. La vulgarisation tente d'adapter des technologies proposées par la recherche au contexte des EAF. Les résultats n'ont pas pu relever les défis en raison de l'inadaptation de ces technologies au contexte économique (motoculteur contre la houe), socioculturel (dispositifs anti-érosifs orientés est-ouest dans les EAF peules au Bénin) et environnemental (pesticides à forte rémanence) des EAF.

Approches participatives ou « Top-down déguisé »

Les approches participatives des années 1990 ont, dès la conception, défini un cadre approprié d'implication effectif des EAF. Ces approches ont été réduites en des discours souvent chargés d'idéologie, d'idéalisation de la démarche, voire de manipulation inconsciente ou délibérée (Lavigne Delville, 2000). La même contre-performance que les approches précédentes est enregistrée malgré les technologies fantastiques (T'Kint *et al.*, 2011 ; Zoundi *et al.*, 2005).



Fertilisation minérale par microdosage
(temps et main-d'œuvre = facteurs limitant)

Paradigme de co-développement

L'idée selon laquelle seules les innovations recensées par les pauvres eux-mêmes pourront changer le cours des choses dans le développement agricole (Enweze, 2005) a été précurseur de démarches partant des savoirs locaux. En effet, l'innovation ne se résume plus en un résultat final du transfert et du développement des résultats de la recherche à certains utilisateurs, mais comme un processus de changement technique et institutionnel qui se joue au niveau de l'exploitation et à des niveaux plus élevés du système avec un impact sur la productivité, la durabilité et la réduction de la pauvreté (Röling, 2010).

Ce nouveau paradigme de co-conception est par exemple actuellement expérimenté par le projet **Convergence of Sciences: Strengthening agricultural innovation systems (CoS-SIS)** au Bénin, au Ghana et au Mali. Ce projet préconise des réformes aux plans technique et institutionnel et au niveau des acteurs afin de générer des technologies facilement adoptables et soutenables (Vodouhè et Houédokoho 2013 ; Triomphe *et al.*, 2013). L'ancrage avec les pratiques paysannes préexistantes et la compétitivité des produits sont un gage pour l'adoption des innovations par les EAF.

Étuvage de riz : un exemple de la démarche participative documentée

(JOLISSA, 2013)



Situation de départ

Marmite en fonte d'aluminium

⇒ Forte consommation de bois
(problèmes environnementaux)



Apport de la recherche

Cuisson à vapeur avec :

- bac d'étuvage (en haut),
- marmite en aluminium.



Adaptation

- Remplacement du bac par un panier,
- conservation de la marmite utilisée avant l'intervention.

N.B. – Ancrage avec la pratique locale de préparation du couscous à base d'igname.



Un cas d'innovation endogène : trous à poissons au Bénin

(JOLISSA, 2013)

4. Que retenir ?

Les expériences en matière de conception des technologies en Afrique de l'Ouest suggèrent que tout succès dans ce sens nécessite une adhésion des membres des EAF.

Pour avoir cette adhésion, les conditions suivantes doivent être remplies :

- la technologie nouvelle doit répondre aux préoccupations des EAF ;
- l'application de la technologie doit s'accompagner d'un financement soutenable pour les membres des EAF ;
- un ancrage de la technologie avec les pratiques existantes est nécessaire pour faciliter les adaptations.

Références citées

- BENTZ B. 2002. « Appuyer les innovations paysannes. » In : BERGERET P. et al. (eds.). *Dialogue avec les producteurs et expérimentations en milieu paysan*, GRET, Paris. 88 p.
- DE BON H., PARROT L., MOUSTIER P. 2010. "Sustainable urban agriculture in developing countries. A review." *Agron. Sustain. Dev.*, 30 : 21-32.
- FANTCHEDE A. 2005. « La participation villageoise dans la lutte contre le VIH SIDA VIH SIDA : cas de l'APNV/SIDA dans le cadre des actions d'appui à l'élaboration des plans d'action villageois. » In *System wide Initiative on HIV/AIDS and Agriculture (SWIHA)*. p. 208-14.
- JOLISSA, 2013. *Systèmes et processus locaux d'innovation — Quelle politique d'innovation pour la sécurité alimentaire et le développement ?* Université d'Abomey-Calavi. 6 p

- LAVIGNE DELVILLE P., BROUTIN C., CASTELLANET C. 2004. *Jachères, fertilité, dynamiques agraires, innovations paysannes et collaboration chercheurs/paysans, Fondements pour des recherches-actions en milieu paysan sur la fertilité des terres*. GRET, Paris. 59 pages.
- OTCHOUN B. 2004. *Étude de la situation et de l'évolution des systèmes de vulgarisation d'animation forestière en Afrique sahélienne : cas du Bénin*. FAO.
- PARROT L., DONGMO C., NDOUMBÉ M., POUBOM C. 2008. "Horticulture, livelihoods, and urban transition in Africa : Evidence from South-West Cameroon." *Agricultural Economics*, 39 (2) : 245-256.
- POOL, N., BUCKLEY C.P. 2006. *L'Innovation : enjeux, contraintes et opportunités pour les ruraux pauvres*. FIDA. 79 pages.
- RÖLING N. 2010. "International Conference on Banana and Plantain in Africa : Harnessing International Partnerships to Increase Research Impact". in T. DUBOIS, et al. (eds.), *ISHS Acta Horticulturae*, ISHS, Mombasa.
- T'KINT S. 2011. *Analyse du réseau d'innovations dans les systèmes agraires basés sur la culture de la banane au Rwanda : visions des acteurs*. Université catholique de Louvain. Mémoire de fin d'étude. 133 p.
- TOULMIN C., GUÈYE B. 2003. *Transformation in West African Agricultures and the role of family farms*. Sahel and West Africa Club (SWAC/OECD), SAH/D (2003) 541, Paris, France, 144 p.
- TRIOMPHE B., BERNARD T., FLOQUET A., KAMAU G., LETTY B., DAVO VODOUHE S., NG'ANG'A T., STEVENS J., VAN DEN BERG J., SELEMNA N., BRIDIER B., CRANE T., ALMEKINDERS C., WATERS-BAYERI A., HOCDE H., 2013. "What Does an Inventory of Recent Innovation Experiences Tell Us About Agricultural Innovation in Africa?" *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 19 (3) : 311-324.
- VODOUHÈ G. T., HOUÉDOKOHO F., 2013. *Les hwédos dans la Vallée de l'Ouémé : réalités a portée sociale*. Rapport d'étude. JOLISAA, 28 p.
- ZHOU, Y. 2012. *Reinventing agricultural extension to smallholders*. Syngenta Foundation for Sustainable Agriculture. 7 p.
- ZOUNDI J. S., HITIMANA, L. ET HUSEIN M. K. 2005. *Économie familiale et innovation agricole en Afrique de l'ouest : vers de nouveaux partenariats*. Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest (SCSAO) OCDE SAH/D (2005) 550. Document de synthèse. 106 p.

Les dimensions sociologiques des innovations : une approche dynamique

Claire Lamine

1. Analyser l'adoption d'innovation : des processus « d'accommodation » de propositions techniques p. 220
 2. Une vision dynamique de l'adoption d'innovation : les trajectoires d'agriculteurs p. 222
 3. Dynamiques collectives et réseaux sociaux p. 226
 4. Effets de verrouillage et leviers de transition p. 228
 5. Conclusions p. 230
- Références citées p. 231

Ce chapitre propose une approche sociologique des changements de pratiques en agriculture, construite à partir d'enquêtes récentes auprès d'agriculteurs impliqués (ou non) dans des transitions vers des formes d'agriculture écologisées (agriculture biologique et protection intégrée notamment).

1. Analyser l'adoption d'innovation : des processus « d'accommodation » de propositions techniques

La question adressée aux sociologues par leurs collègues agronomes est souvent celle-ci : « Les agriculteurs adopteront-ils ces propositions techniques ? Quelle est leur acceptabilité ? » Nous proposons de la reformuler, en nous intéressant à la façon dont les agriculteurs peuvent « recevoir » un ensemble de propositions techniques (qui leur sont adressées par l'encadrement technique, par des collègues, dans le cadre de groupes d'agriculteurs par exemple, ou qu'ils vont chercher), et à la manière dont ils peuvent « s'en accommoder » (Compagnone *et al.*, 2011).

Réception et accommodation correspondent à deux phases d'un même processus :

- l'une, idéale, qui amène un individu à prêter attention à ces nouvelles façons de faire, en les confrontant à son système de pensée ;
- l'autre, réelle, qui le conduit à les éprouver concrètement en les insérant dans l'ensemble de son système de pratiques, tout en modifiant ce dernier de manière plus ou moins poussée.

Ce travail d'accommodation de la proposition technique, qui vise à organiser un ensemble de pratiques de manière cohérente, est facilité (ou non) par les « prises » offertes par l'innovation proposée et par sa capacité à changer de forme, à être aisément démontée en sous-éléments destinés à être eux-mêmes réagencés avec d'autres éléments.

Cela ne signifie pas qu'un changement de pratique est toujours entièrement choisi : il est souvent au moins en partie lié à des modifications des conditions d'exercice du métier (réglementation notamment) réelles ou anticipées par les agriculteurs, ainsi qu'aux évolutions des normes sociales du milieu professionnel (par exemple, les conceptions de l'excellence professionnelle ; Lamine, 2011a).

Le cas de la protection intégrée en grandes cultures

À partir d'une enquête auprès d'agriculteurs faisant partie de groupes « protection intégrée » (PI) accompagnés par des conseillers spécialisés, nous avons étudié comment étaient reçues et accommodées les règles de décision ou plutôt les principes généraux proposés par ces conseillers « PI ». Ceux-ci visent à changer le raisonnement de manière *a priori* assez radicale :

Raisonnement en itinéraires techniques annuels par culture



Raisonnement en systèmes de production sur des rotations longues

Ensemble de principes cohérents : variétés résistantes, retard des semis, faible densité de semis, diminution et report des apports en azote, allongement des rotations, une culture de printemps, repousser le plus possible les traitements fongicides.

Cette enquête nous a permis d'identifier trois processus d'adoption, qui sont aussi trois modalités de réaction des agriculteurs par rapport aux propositions techniques de la protection intégrée (Hochereau et Lamine, 2010) :

1. un processus d'**appropriation**, dans lequel les agriculteurs adoptent de manière assez complète, et en général assez pérenne, les propositions ;
2. un processus d'**arrangement**, lorsque les agriculteurs adoptent seulement une partie des propositions, et en général de manière réversible ;
3. un processus de **percolation**, au travers duquel les agriculteurs recomposent les propositions avec d'autres innovations, souvent plus « spontanées » et (ou) provenant d'autres sources — exemple du passage au non-labour.

2. Une vision dynamique de l'adoption d'innovation : les trajectoires d'agriculteurs

Notre approche, qui est donc centrée sur l'intégration des innovations dans un système de pratiques, vise à saisir les changements de pratiques, au fil des trajectoires d'agriculteurs. Nous l'appliquerons au cas de la conversion à l'agriculture biologique (AB) en maraîchage, et montrerons comment cette analyse a été mise en débat entre sociologues et agronomes, à partir d'une lecture appuyée sur la grille ESR (efficience, substitution, redéfinition).

Dans la littérature scientifique, la majorité des approches employées pour aborder la conversion à l'agriculture biologique (AB) s'appuient sur l'étude des motivations et (ou) des représentations, et sur les méthodes de type arbres de décision (Lamine et Bellon, 2009). Outre qu'elles conduisent souvent à mettre en opposition des motivations économiques et des motivations militantes, alors que celles-ci ne sont ni les seules, ni forcément exclusives, ces approches sous-estiment la longue durée des changements et le caractère processuel.

Nous avons donc adopté une démarche plus compréhensive, initiée dans le projet Tracks centré sur l'arboriculture et le maraîchage AB (Lamine et Perrot, 2007) puis ajustée ensuite dans d'autres projets (notamment les projets CIAB Epab, ANR Gédupic, ANR Popsy ; voir Lamine 2011a, 2011b).

Dans l'approche que nous proposons, dynamique et processuelle, le principe est de retracer la complexité des éléments ayant conduit les agriculteurs là où ils en sont aujourd'hui. Pour cela, les points d'entrée sont :

- de repérer les antécédents qui, dans les périodes antérieures de la trajectoire, ont pu influencer sur ou faciliter la conversion à l'AB ;
- d'identifier les déclencheurs, les motivations et les facteurs de changement. Par exemple chez un même agriculteur, le déclencheur peut être une formation suivie, un contact, un problème de santé ; les motivations peuvent combiner des aspects environnementaux, de qualité de vie, ou économique, et les facteurs de changement (externes) peuvent être les dispositifs de soutien ou d'accompagnement à la conversion à l'AB (cf. *infra*) ;
- d'analyser les *objets* du changement dans leur diversité (les pratiques de production, les pratiques de commercialisation, les conceptions, les relations aux autres, etc.).

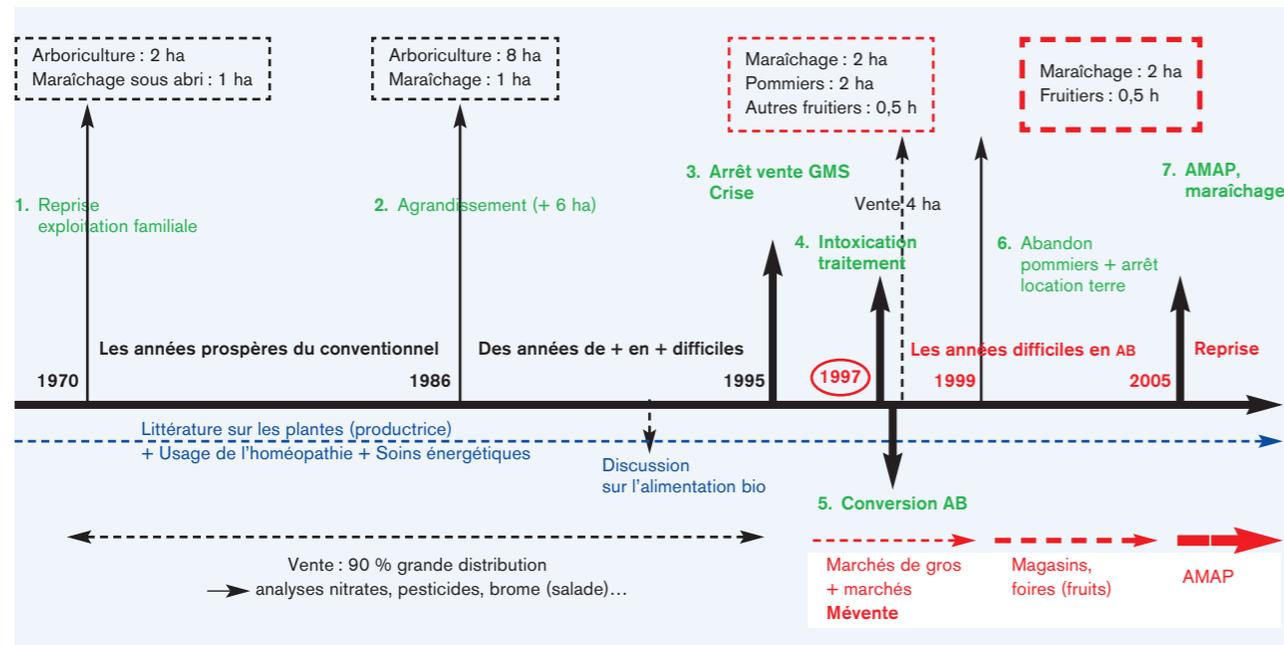
À partir des entretiens menés, nous construisons une formalisation synthétique des trajectoires le long d'une flèche du temps : cultures, rotations, événements, contexte, mise en marché, réseaux.

Nos enquêtes sur la conversion à l'AB en maraîchage nous ont montré (notamment) que celle-ci s'opérait sur une durée allant bien au-delà des trois années officielles de la conversion au sens administratif : elle résulte souvent de séries d'événements antécédents qui s'avèrent *a posteriori* décisifs, et les changements se poursuivent au-delà de ces trois années.

Enquête trajectoires – Un cas

(Claire Lamine)

- En haut, l'évolution des surfaces
- En bas, l'évolution des débouchés
- En vert, les grandes étapes de la trajectoire
- En bleu, les modes d'apprentissage



Nous avons repéré des conversions assez **directes** et rapides (suite à des situations de crise ou des problèmes de santé par exemple) ou, plus nombreuses, des conversions **progressives** (faisant suite à des ruptures antérieures avec le cadre agricole conventionnel), sachant que les conversions directes peuvent être (ou non) « préparées » (au travers de formations, lectures, etc.).

Une collaboration entre sociologues et agronomes nous a permis d'analyser les changements de pratiques des agriculteurs en conversion AB au travers de la grille ESR. Les trajectoires de conversion directes et progressives correspondent à des changements de pratiques qui relèvent respectivement plutôt de la substitution d'intrants et plutôt de la redéfinition du système (Lamine, 2011b), bien que la réalité soit souvent plus complexe

Transitions vers l'AB en maraîchage : substitution ou redéfinition ?

	Progressivité de la conversion	Stratégie de protection des cultures	Degré de spécialisation	Modes de mise en marché
Substitution	Directe (≤ 3 ans)	Utilisation d'intrants biologiques dans le même cadre de référence qu'en conventionnel	Exploitations plus spécialisées (souvent 2 à 5 espèces de légumes)	Circuits longs en majorité
Redéfinition	Progressive (3 à 20 ans), avec des antécédents en conventionnel (ex. : recours à la lutte biologique)	Combinaison d'effets partiels et appui sur les régulations biologiques	Exploitations plus diversifiées (jusqu'à 50 espèces)	Plus de circuits courts (ou combinaison)

Dans le cadre du projet Gédupic, nous avons appliqué le même type d'approche au cas de la protection intégrée en arboriculture fruitière et montré là aussi la progressivité de nombreux changements de pratiques (Perrot, 2009) : progressivité dans la mise en œuvre d'une technique alternative donnée, ainsi, pour le cas de la confusion sexuelle, les arboriculteurs font d'abord des essais (souvent dans le cadre de leurs groupements techniques), puis opèrent une extension progressive sur leur verger ; et schémas variés d'adoption partielle et successive de *différentes* techniques alternatives.

Dans tous les cas étudiés, le rythme des changements dépend de divers facteurs souvent entremêlés : les ressources des agriculteurs (disponibilité des techniques, coût, conseil formel ou informel, etc.), leurs contraintes d'organisation du travail, leurs modes d'insertion dans le marché, le rôle de l'environnement de travail (collègues dans l'exploitation, famille, voisins) et éventuellement du ou des collectifs auquel ils appartiennent, qui peuvent jouer un rôle déterminant pour passer d'une confiance en l'efficacité des produits à une confiance en l'efficacité des observations et des méthodes alternatives. La prise de risque, au-delà de la notion classique d'*aversion au risque*, a en effet une dimension collective (Lamine, 2011a).

3. Dynamiques collectives et réseaux sociaux

Les agriculteurs sont insérés dans une diversité de types de réseaux sociaux, qui jouent un rôle dans leurs changements de pratiques : réseaux liés à l'approvisionnement et à la mise en marché (groupes de producteurs, coopératives, fournisseurs d'intrants, etc.), réseaux de conseil technique ou de gestion, de partage de matériel et d'entraide, réseaux politiques ou citoyens.

Nous avons montré que l'ampleur et la robustesse des changements de pratiques effectués (dans le sens d'une réduction des intrants) dépendent de la capacité des agriculteurs à construire non seulement *des liens forts* avec des réseaux d'agriculture « durable » (au sens large) mais aussi *des liens faibles* avec d'autres types de réseaux, qui constituent autant de ponts pour la circulation d'informations sur une diversité de pratiques de réductions d'intrants (Cardona et Lamine, 2014).

On constate que les politiques publiques s'appuient de plus en plus sur les dynamiques collectives, comme le montre le cas des « Quintais florestais » au Brésil (*encadré*), une démarche brésilienne qui peut apparaître comme du « *top-down* revisité » : *top-down* car appuyée sur un « package » technique, dans une perspective diffusionniste (avec des agriculteurs pilotes censés être des « phares agro-écologiques »), mais *revisité* car la démarche s'appuie aussi sur des réunions d'agriculteurs visant à échanger entre eux sur leurs difficultés, les techniques qu'ils mettent en œuvre, les pistes de mise en marché, etc.

Les « quintais agroflorestais » dans l'État de Bahia (Brésil) : du « *top-down* » revisité ?

L'EBDA, institution de développement agricole de l'État de Bahia, développe depuis 2012 un projet d'appui au développement de jardins familiaux (avec excédents), qui s'inscrit dans une réorientation plus large (nationale) du développement agricole (« extension rurale » au Brésil) vers l'agriculture familiale. Le point de départ est un objectif d'auto-subsistance : il s'agit d'une « alternative de sécurité alimentaire basée sur la transition agro-écologique ».

Enjeux — Diversification (et limitation des risques), protection des sols (érosion) et fertilité, qualité des aliments (sans intrants de synthèse), diversité alimentaire.

Principe — Conception d'un jardin de 1 600 m² avec espèces fruitières de tailles différentes, légumes à fonctions différentes (légumineuses, aliments, ration animale), petit élevage.

Objectif — 10 000 agriculteurs familiaux, sur les 650 000 de l'État de Bahia (ciblage social via les programmes sociaux publics).

Démarche de formation-diffusion — Techniciens et agriculteurs, suivi de cinq agriculteurs par un conseiller.

Accompagnement pour la mise en marché — Articulation avec systèmes publics d'achat.

Kits d'outils — Individuels (ruches, compost, outils pour biofertilisants, etc.) et collectifs.

4. Effets de verrouillage et leviers de transition

Sortons maintenant de l'échelle des agriculteurs et de leurs collectifs, pour aborder celle du système socio-technique.

Des analyses de l'évolution de l'usage des pesticides, appuyées sur des notions de trajectoires technologiques et de dépendance au chemin, permettent de mettre en lumière les effets de verrouillage (Cowan et Gunby, 1996 ; Wilson et Tisdell, 2001).

Nous avons appliqué cette approche au cas du blé tendre et de la pomme, et montré comment, du fait de la construction progressive d'une trajectoire impliquant un ensemble d'acteurs à tous les niveaux du système socio-technique, se cristallisait et se renforçait progressivement un paradigme dominant, celui de l'intensification (Ricci *et al.*, 2011 ; voir aussi Vanloqueren et Baret, 2004). Cette trajectoire se « verrouille » au fil du temps, empêchant certains retours en arrière, du fait de l'articulation étroite des différents éléments qui la composent (innovation variétale, technologies, stratégies des exploitations, concentration de la distribution, etc.). Ainsi, le paradigme dominant parvient à résister, jusqu'à un certain point, face aux pressions externes et aux alternatives émergentes (qui sont marginalisées).

Pistes pour des transitions vers des pratiques écologisées...

En circuit court, on peut envisager une *redéfinition* du système socio-technique, qui s'opère à tous les niveaux de ce système, jusqu'à l'alimentation (Gliessman, 2007) :

- évolutions des cultures et des surfaces ;
- redéfinition des stratégies de commercialisation ;
- lien direct aux consommateurs, permettant apprentissages, ajustement offre-demande, appui au changement (cas des AMAP, cf. Lamine, 2005) ;
- des stratégies de limitation des risques : essais, arrêt de cultures, diversification, transformation, pluriactivité, etc. ;
- l'appui sur certains réseaux (y compris informels).

Ces cas de redéfinition suggèrent quelques leviers de transitions valant au-delà des seuls circuits courts :

1. à l'échelle de l'exploitation : complémentarités entre productions, combinaisons de circuits, changements dans l'organisation du travail ;
2. à l'échelle collective : pour partager les apprentissages, pour gérer l'équilibre entre diversification et spécialisation, pour mettre en place des pratiques à l'échelle collective ;
3. à l'échelle du « système agri-alimentaire territorial » : coordination avec les transformateurs et distributeurs, rôle des politiques publiques et sociétés civiles locales.

5. Conclusions

Il importe de reconnaître le rôle de la *progressivité* des trajectoires dans la *robustesse* des « conversions » ou transitions vers des formes d'agriculture écologisées, car cette progressivité facilite les apprentissages. Il en va souvent de même de l'insertion dans des collectifs.

Mais les agriculteurs et leurs collectifs sont insérés dans un système socio-technique qui les contraint, et dont il faut analyser la trajectoire, avec les processus de verrouillage ou de marginalisation des voies alternatives qu'elle peut comporter et les pistes de transition.

Nous suggérons donc de combiner analyse socio-historique, diagnostic de la situation actuelle, et réflexion prospective... en s'appuyant sur une diversité de compétences, y compris celles des acteurs de ce système socio-technique (professionnels, filières, conseil, politiques publiques).

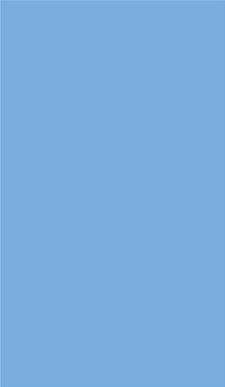
Il nous semble intéressant d'analyser les transitions vers l'AB, l'agro-écologie ou plus largement des pratiques écologisées, à l'échelle du système agri-alimentaire territorial (ensemble des acteurs publics, privés et citoyens impliqués dans les activités agricoles et alimentaires sur un territoire donné), échelle à laquelle on peut essayer d'objectiver les phénomènes d'interdépendance, de verrouillage, ou encore d'émergence ou marginalisation des voies alternatives (Lamine, 2012).

Références et travaux cités

- CARDONA A., LAMINE C. 2014. « Liens forts et liens faibles en agriculture : l'influence des modes d'insertion socio-professionnelle sur les changements de pratiques. » In BERNARD DE RAYMOND A., GOULET F. (dir.), *Du grain à moudre – Sociologie des grandes cultures*, Quae, à paraître.
- COMPAGNONE C., LAMINE C., HELLEC F. 2011. « Propositions techniques et dynamiques de changement des agriculteurs. » In RICCI P., BUI S., LAMINE C. (dir.), *Repenser la protection des cultures. Innovations et transitions vers une protection écologique*, Dijon-Paris, Éd. Educagri-Quae.
- COWAN R., GUNBY P. 1996. "Sprayed to death: Path dependence, lock-in and pest control." *Economic Journal*, 106 (436) : 521-43.
- GLIESSMAN S.R. 2007. *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. New York: CRC Press, Taylor & Francis.
- HAYNES I., LAMINE C., PARATTE R., WIERZBICKA A., ZOLTAN S., LEHOTA J., BUURMA J., VANDENBERG I., MARACCINI E., MOONEN C., WILLIAMSON S. 2010. *Are supermarkets a tool facilitating the transition to low input farming practices?* IFSA congress, Vienna, July 2010.
- LAMINE C. 2005. "Settling the shared uncertainties: local partnerships between producers and consumers.", *Sociologia Ruralis*, 45 : 324-345.
- LAMINE C. 2011a. « Anticiper ou temporiser. Injonctions environnementales et recompositions des identités professionnelles en céréaliculture. » *Sociologie du travail*, 53 : 75-92.
- LAMINE C. 2011b. "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. 2012. « Changer de système : une analyse des transitions vers l'agriculture biologique à l'échelle des systèmes agri-alimentaires territoriaux. » *Terrains et Travaux*, 20 : 139-156.
- 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.

■ PERROT N. 2009. *Conditions d'adoption de techniques « alternatives » aux pesticides en production de pommes. Analyse sociologique au travers du cas du carpocapse et de la tavelure*. Rapport de recherche, projet Gédupic, INRA, 41 p.

■ WILSON C., TISDELL C. 2001. "Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs." *Ecol. Econ.*, 39 : 449-462.



Valorisation commerciale d'une agriculture durable de proximité

Paule Moustier

1. Justification: pourquoi une valorisation commerciale spécifique est-elle recommandée pour des systèmes innovants sur le plan de la durabilité ? p. 234
 - Attributs particuliers de la durabilité
 - Surcoûts et surpris
 - Solutions institutionnelles
 2. Valorisation par les circuits courts p. 239
 - Définition
 - Formes
 - Avantages
 - Exemple du Vietnam
 3. Conclusion p. 241
- Références citées p. 241

1. Justification

Attributs particuliers de la durabilité

Nous considérons ici dans la durabilité l'impact environnemental et l'impact sanitaire, et particulièrement, l'utilisation de produits chimiques par les producteurs. L'impact environnemental comme la qualité sanitaire sont des attributs de croyance, caractérisés par des difficultés de mesure (*voir encadré ci-dessous*).

Les attributs des biens de consommation

Les attributs des biens de consommation peuvent être classés en trois types selon la capacité des consommateurs à les évaluer (Nelson, 1970 ; Darby et Karni, 1973) :

- les **attributs de recherche**, qui peuvent être appréciés dans le processus de recherche antérieur à l'achat (*ex.* : le style d'une robe) ;
- les **attributs d'expérience**, qui ne sont découverts qu'après l'achat, lorsque le produit est utilisé (*ex.* : le goût du thon en boîte) ;
- les **attributs de croyance**, qui ne peuvent être évalués au cours d'une utilisation normale du produit. Ils nécessitent une information supplémentaire coûteuse (*ex.* : la nécessité d'une réparation automobile).

Dans la situation d'attributs de croyance, les producteurs sont incités à frauder, et la bonne qualité peut finalement disparaître au profit de la mauvaise. Ce problème, qualifié de sélection adverse, a particulièrement été mis en évidence par Akerlov (1970). (*Voir encadré page suivante.*)

Pourquoi la mauvaise qualité chasse la bonne (Akerlov, 1970).

Dans l'article « **The market for "lemons"** » qui traite du marché des voitures d'occasion, Akerlov pose la question suivante : Pourquoi le prix d'une voiture d'un an est-il beaucoup plus bas que celui d'une voiture neuve ?

La raison principale est que les acheteurs ne peuvent pas faire la différence entre les bonnes et les mauvaises voitures. Seuls les vendeurs connaissent la valeur des voitures, c'est-à-dire qu'il existe une asymétrie d'information sur la qualité de la voiture entre le vendeur et l'acheteur.

Dans ce contexte, le prix d'une bonne voiture équivaut à celui d'une mauvaise voiture, c'est-à-dire à la moyenne entre la valeur de la bonne et celle de la mauvaise voiture. Cette moyenne est supérieure à la valeur de la mauvaise voiture et inférieure à celle de la bonne voiture.

Ainsi, le marché libre ne permet pas spontanément de trier les bons et les mauvais produits. Cette situation va décourager les producteurs de la bonne qualité, qui ne veulent pas vendre à un prix plus bas que la valeur de leurs produits. Au contraire, elle va inciter les producteurs de mauvaise qualité à vendre, puisque le prix sera supérieur à la valeur de leurs produits. Au bout d'un moment, seule la mauvaise qualité sera mise sur le marché, ce qui dissuadera les usagers d'acheter. Et le marché finira par disparaître.

Par ailleurs, la durabilité mobilise des actifs spécifiques, c'est-à-dire des investissements difficilement valorisables en dehors d'une transaction spécifique. C'est le cas des investissements suivants :

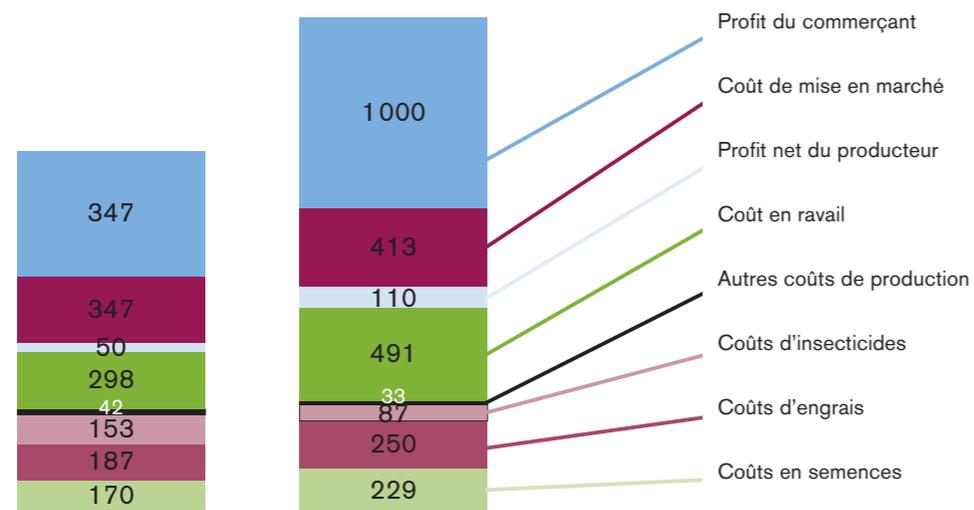
- les cahiers des charges de production,
- les haies de séparation des parcelles dans le cas de l'agriculture biologique,
- les variétés rustiques,
- les filets anti-insectes,
- la protection de la biodiversité cultivée et sauvage.

Surcoûts et sur-prix

Enfin, la durabilité entraîne des surcoûts spécifiques avec une baisse fréquente des rendements, d'autant plus que l'on se situe en zone tropicale, où il est difficile de résoudre de nombreux problèmes phytosanitaires sans traitement chimique. La figure ci-dessous illustre cette situation dans le cas de Hanoi au Vietnam.

Comparaison économique des filières de chou « sain » et conventionnel autour de Hanoi ; en dong/kilo (1 dong = 0,00004 €)

Source : Moustier et al., 2010.



Entre la production de légumes dits « sains » (issus d'agriculture raisonnée) et la production conventionnelle, les coûts de production sont supérieurs de 28 % et le rendement est inférieur de 12 % dans le premier cas. Le prix de vente est supérieur de 33 %, ce qui permet un profit supérieur du producteur.

Le consentement à payer du consommateur pour des produits plus durables et (ou) plus sains est souvent montré : plus de 50 % au Bénin (Coulibaly *et al.*, 2011) et plus de 36 % en Turquie (Akgungor *et al.*, 2007) pour les légumes biologiques ; plus de 60 % au Vietnam pour le chou chinois sans produits chimiques (Megenthaler *et al.*, 2009). Cependant, il existe une divergence entre les déclarations des consommateurs et les pratiques d'achat. En fait les consommateurs sont rarement prêts à sacrifier les qualités visuelles des produits achetés. Et ils ne font pas toujours confiance à ce qui est présenté comme un produit de qualité supérieure. La composante de la durabilité qui les préoccupe le plus est leur santé, l'environnement est peu pris en compte.

Solutions institutionnelles

Solutions d'ordre privé

Dans les situations où il existe de fortes incertitudes sur la qualité et où des actifs spécifiques sont engagés, l'intégration verticale est plus efficace que le marché spot, c'est-à-dire la coordination par les prix et des transactions anonymes et immédiates (Williamson, 1987).

Les formes d'intégration verticale sont les suivantes :

- les contrats,
- la combinaison d'activités par une même entreprise, ce qui implique généralement du salariat et de la hiérarchie,
- le contrôle par l'acheteur du processus de production, ou le contrôle par le producteur du processus de vente.

Par ailleurs, il est important que le consommateur puisse distinguer les « bons produits » des « mauvais produits » ce qui justifie les stratégies de différenciation des produits par les entreprises de l'offre : marques, labels, communication.

Solutions publiques

La qualité sanitaire est un bien public, donc l'État a un rôle à jouer dans sa garantie, en édictant des règles, en assurant son contrôle et en veillant à ce que les entreprises de l'offre soient incitées à respecter les règles.

Mais elle ne peut être améliorée sans incitations pour le secteur privé :

- l'État a des ressources limitées ;
- il existe des synergies positives entre initiatives publiques et privées (Garcia Martinez *et al.*, 2007) ;
- l'État n'est pas forcément mieux placé que le secteur privé pour contrôler les fraudes (Darby et Karni, 1973).

En conclusion, nous soulignons les points suivants.

La mise en place de pratiques d'agriculture durable implique une valorisation commerciale particulière, surtout dans les pays du sud, car :

- elle entraîne des surcoûts ;
 - si les efforts de durabilité ne sont pas reconnus spécifiquement par le consommateur, ce sont les pratiques non durables qui domineront sur le marché ;
 - pour cela, il est important que le producteur jouisse de prix supérieurs.
- Une solution est de vendre sur un circuit intégré, dont le circuit court est une forme particulière.

2. Valorisation par les circuits courts

Définition

Le circuit court est caractérisé par un ou zéro intermédiaire entre producteur et consommateur (Minagri France, 2009).

Différentes formes

Les circuits courts recouvrent différentes formes de mise en marché par les producteurs :

- les marchés paysans,
- les achats à la ferme,
- la livraison à domicile,
- les CSA, « community-supported agriculture ». Ces formes sont nées dans les années 1960, au Japon et en Allemagne, puis elles se sont développées aux États-Unis et en Europe. En France, elles prennent la forme des AMAP (associations pour le maintien de l'agriculture paysanne) nées en 2001.

Avantages généraux

Les circuits courts sont une forme d'intégration verticale, adaptée aux caractéristiques d'incertitude des attributs, et de mobilisation d'actifs spécifiques de la durabilité. La proximité entre producteurs et consommateurs peut assurer une meilleure garantie de la qualité sanitaire des produits :

- elle facilite l'information des consommateurs sur les pratiques de production, et l'information des producteurs sur la demande des consommateurs ;
- elle favorise le contrôle de la qualité par les acheteurs sur le lieu de production, voire le co-investissement entre producteurs et acheteurs.

En Bretagne, il a été noté que 30 % des ventes directes de légumes concernent des producteurs en agriculture biologique contre 15 % des ventes à la ferme pour l'agriculture conventionnelle (Redlinshöfer, 2008), ce qui suggère un lien entre un souhait de valoriser des attributs de durabilité et le recours aux circuits courts.

Différentes formes de proximité entre le consommateur et le point de vente peuvent être identifiées (Bergadaa et Del Bucchia, 2009) :

- la proximité d'accès,
- la proximité relationnelle,
- la proximité identitaire,
- la proximité de processus.

Il existe une relation entre ces proximités — surtout identitaire et de processus — et la confiance du consommateur (Herault-Fournier *et al.*, 2012).

La solidarité entre agriculteurs et consommateurs est caractéristique des AMAP :

- paiement à l'avance par les consommateurs (en général, une saison),
- appui en cas de catastrophe naturelle,
- participation à visites et à des journées d'information.

Ainsi, les AMAPs renvoient au concept d'agriculture civique (DeLind, 2002 ; Lyson, 2000) : les producteurs et les consommateurs ont la sensation d'appartenir à une même communauté avec des opportunités, contraintes et responsabilités.

Exemple du Vietnam

Lorsque nous avons étudié les stratégies de commercialisation des coopératives de légumes « sains » et biologiques, il est apparu que les circuits courts sont couramment observés, ils sont beaucoup plus rares pour la production conventionnelle de légumes (Moustier *et al.*, 2010). Ils prennent la forme de magasins et stands de marché, où vendent producteurs ou détaillants achetant en coopératives de producteurs ; de vente par des coopératives de producteurs à des cantines, restaurants et supermarchés ; et enfin, dans le cas de l'agriculture biologique, d'une forme d'AMAP. En 2012, 400 consommateurs adhéraient à un système de livraison par 70 producteurs, à prix fixe pour tout type de légumes et toute l'année.

Conclusion

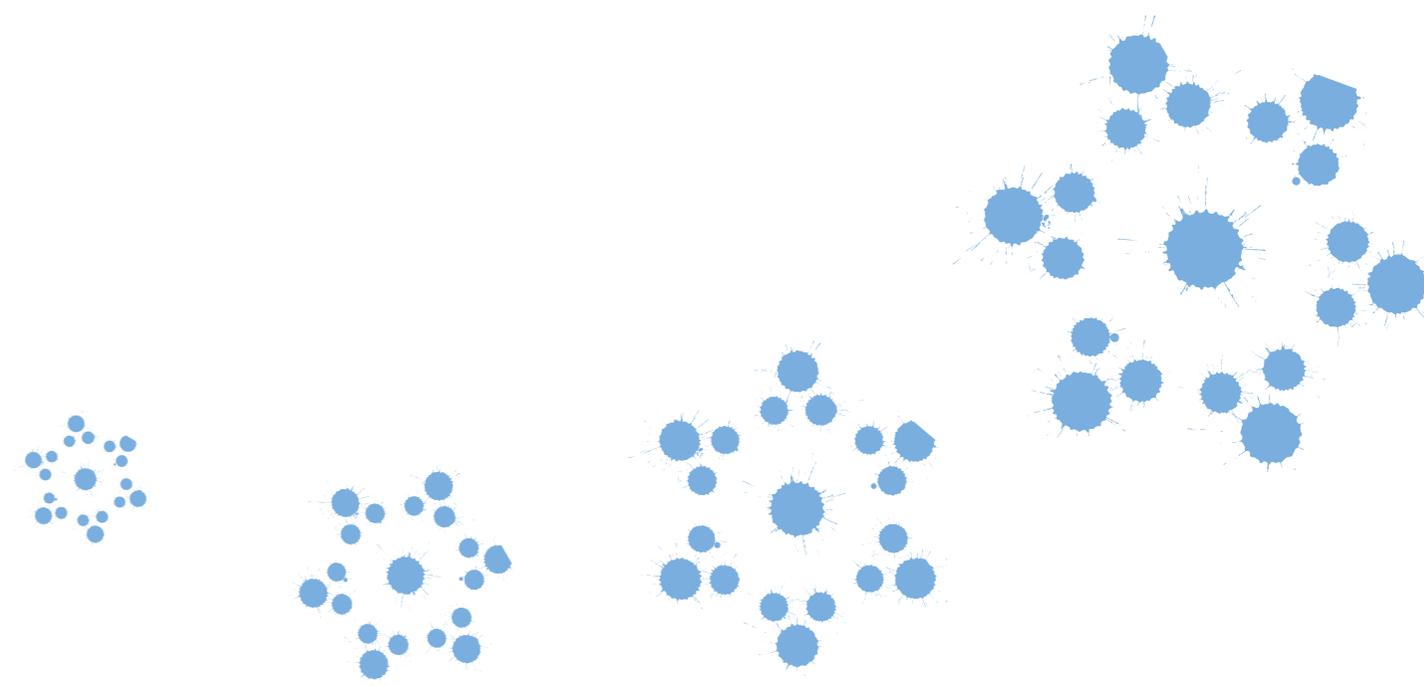
Il faut retenir l'importance des ventes directes des producteurs aux consommateurs et des producteurs aux détaillants pour valoriser les efforts sur la qualité sanitaire.

Des recherches complémentaires devraient être menées sur la mesure des impacts dans la durée de différents types de circuits courts et modes de contrôle. Les impacts devraient être considérés, en termes d'alimentation, d'emploi, de revenus, d'environnement, et d'innocuité des produits.

Références citées

- AKGUNGOR S., MIRAN B., ABAY, C. 2007. "Consumer Willingness to Pay for Organic Products in Urban Turkey." *European Association of Agricultural Economists*. Bologna, Italy.
- AKERLOV G.A. 1970. "The market for 'lemons'" : quality uncertainty and the market mechanism." *Quarterly Journal of Economics*. LXXXIV (3) : 488-500.
- BARZEL Y. 1982. "Measurement cost and the organization of markets." *Journal of Law and Economics*. XXV : 27-50.
- BERGADAA M., DEL BUCCHIA C. 2009. « La recherche de proximité par le client dans le secteur de la grande consommation alimentaire. » *Management et Avenir*. 21, 121-135.
- COULIBALY O., NOUHOHEFLIN T., AITCHEDJIA C., CHERRY A.J., ADEGBOLA P.Y. 2011. "Consumers' Perceptions and Willingness to Pay for Organically Grown Vegetables." *International Journal of Vegetable Science*. 17 (4) : 349-362.
- DARBY N.R., KARNI E. 1973. "Free Competition and the Optimal Amount of Fraud." *Journal of Law and Economics*. 16 : 67-88.

- DELIND L.B. 2002. "Place, work, and civic agriculture : Common fields for cultivation." *Agriculture and Human Values*, 19 : 217-224.
- Garcia Martinez M. G., Fearne A., Caswell J.A., Henson S. 2007. "Co-regulation as a possible model for food safety governance : opportunities for public-private partnerships." *Food Policy*, 32 : 299-314.
- HÉRAULT-FOURNIER C., MERLE A., PRIGENT-SIMONIN A.-H. 2012. « Comment les consommateurs perçoivent-ils la proximité à l'égard d'un circuit court alimentaire ? » *Management et Avenir*, 3 (53) : 16-33.
- LAMINE C. 2008. *Les AMAP : un nouveau pacte entre producteurs et consommateurs ?* Éditions Yves Michel.
- LYSON T. 2000. "Moving towards civic agriculture." *Choices third quarter*, 42-45.
- MÉNARD C., VALCESCHINI E. 2005. "New institutions for governing the agri-food industry." *European Review of Agricultural Economics*, 32 (3) : 421-440.
- MOUSTIER P., PHAN T.G.T., DAO T.A., VU T.B. AND NGUYEN T.T.L. 2010. "The role of Farmer Organisations Supplying Supermarkets with Quality Food in Vietnam." *Food Policy*, 35 : 69-78.
- MOUSTIER P. 2013. "Reengaging with consumers : proximity is essential but not enough." *Acta Horticulturae*, n° 1006, p. 17-35.
- MOUSTIER P., NGUYEN THI TAN LOC. "Le Circuit court, mode de certification de la qualité sanitaire au Viêt Nam." À paraître dans *Économie rurale*.
- NELSON P. 1970. "Information and consumer behavior." *Journal of Political Economy*, 78 : 311-329.
- REDLINGSHÖFER B. 2008. « L'impact des circuits courts sur l'environnement. » In G. MARÉCHAL (ed.), *Les circuits courts alimentaires*, p. 175-185 : Educagri.
- WILLIAMSON O.E. 1987. *The economic institutions of capitalism*. New York: The Free Press, Collier Macmillan Publishers.



Glossaire

L'écriture des mots composés est choisie avec trait d'union mettant ainsi l'accent sur l'étymologie. Ce choix dépend de l'auteur. Toutefois, la suppression du trait d'union semble devenir prédominante.

Agriculture biologique (AB) — Mode de production agricole qui se caractérise par l'absence d'utilisation des produits chimiques de synthèse, et prônant un haut degré de biodiversité, la préservation des ressources naturelles, l'application de normes élevées en matière de bien-être animal.

Agro-écosystème ou **agro-système** — Écosystème modifié par l'homme pour en retirer une production agricole (végétale et (ou) animale).

Approche participative — Une approche est dite participative lorsqu'elle permet aux acteurs qui se sentent concernés par un projet, qu'ils soient ou non constitués en association, de l'influencer. Agitant ce concept de participation, nombre d'interventions ne l'appliquent pas réellement ou ne l'appliquent que très superficiellement. C'est ce que l'on désigne alors par le « *top-down* déguisé ».

Approches « top-down révélées » — De la période coloniale jusqu'à la fin des années 1980, les actions de développement et les démarches d'interventions sont conçues de l'extérieur et n'offrent aucune possibilité à certains acteurs, notamment les bénéficiaires, de les influencer.

Auxiliaire ou **ennemi naturel des ravageurs** — En protection des cultures, organisme qui s'attaque aux BIO-AGRESSEURS et qui permet, dans certaines situations, de limiter leur développement ou leurs dommages. Les auxiliaires, qui consomment (prédateurs) ou parasitent (PARASITOÏDES) des RAVAGEURS, contribuent à la RÉGULATION NATURELLE de ces RAVAGEURS.

Bio-agresseur — Organisme dont l'action sur la plante cultivée occasionne des dommages d'importance économique. En protection des cultures, le terme RAVAGEUR désigne un bio-agresseur macro-organisme animal (arthropode, mollusque, mammifère...) alors que le terme pathogène désigne un bio-agresseur micro-organisme tel que champignon, bactérie, virus occasionnant une maladie à la plante cultivée. Le terme adventice désigne une espèce végétale concurrente de la plante cultivée. On parle d'INFESTATION lorsqu'une parcelle est colonisée par des adventices, ou qu'une plante est colonisée par un RAVAGEUR, et d'INFECTION lorsque la plante est contaminée par un agent pathogène.

Biodiversité, biodiversité fonctionnelle — La biodiversité est la « variabilité des organismes vivants [...] et les complexes écologiques dont ils font partie : ceci inclut la diversité intra-spécifique (au sein d'une même espèce), inter-spécifique (entre les espèces) et la diversité des écosystèmes » (d'après Nations Unies, Convention sur la diversité biologique 1992, Rio de Janeiro). La biodiversité fonctionnelle est la biodiversité qui remplit certaines fonctions et fournit des SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES tels que la pollinisation, la régulation des BIO-AGRESSEURS, la nutrition des plantes...

Co-conception — La co-conception (ou co-création ou encore co-design) regroupe différentes approches et réponses à de nouvelles pratiques de conceptions et dont le but est de produire des idées à mettre en place à l'aide d'un travail commun où la parole des experts et celle des usagers sont sur le même plan (voir Tchamitchian et Le Gal, p. 89 dans ce livre).

Confusion sexuelle — Pratique culturale utilisée en arboriculture qui consiste à placer dans les arbres des capsules qui diffusent en permanence des attractifs synthétiques imitant les phéromones des RAVAGEURS femelles pour empêcher l'accouplement, en interrompant ainsi leur cycle biologique avant le stade nuisible. Cette technique est notamment utilisée pour lutter contre le carpocapse du pommier.

Dépendance au chemin (*path dependency*) et verrouillage — Les innovations s'inscrivent dans un cheminement (on parle également de « trajectoire »), et ce chemin les contraint du fait notamment de routines organisationnelles ou de la propension à améliorer ce qui existe déjà, d'où des verrouillages (*lock in*). Ainsi, des technologies ayant des performances et fonctions similaires, et peut-être des potentiels supérieurs dans le long terme, sont mises de côté.

Durabilité des résistances — Une résistance est dite durable si elle conserve son efficacité après avoir été utilisée de manière prolongée sur de grandes surfaces et en présence du BIO-AGRESSEUR. On améliore la durabilité de la résistance en combinant divers leviers agronomiques, biologiques, chimiques ou génétiques, pour réduire les pressions de BIO-AGRESSEURS.

École néo-classique ou économie de marché — Économie dans laquelle les questions, « quoi ? », « comment ? » et « pour qui ? », relatives à l'allocation des ressources, sont essentiellement résolues par la confrontation d'une offre et d'une demande sur un marché.

Écologie, écologie du paysage — L'écologie étudie les être vivants en relation avec leur milieu et leurs interactions. L'écologie du paysage s'intéresse aux interactions et dynamiques spatiales, en lien avec l'hétérogénéité de structure et d'utilisation par l'homme des paysages, pour différentes échelles spatiales et temporelles (voir également Lavigne *et al.*, p. 181 dans ce livre).

Économie institutionnelle ou théorie des institutions — Courant d'analyse qui étudie les interactions entre le comportement des individus et les institutions qui font partie de leur environnement. Elle rejette l'hypothèse selon laquelle l'économie s'applique exclusivement au domaine marchand. Les institutions sont censées diminuer les coûts de transaction.

Engrais vert — Culture à but non commercial, qui est enfouie en fin de période végétative pour améliorer la structure du sol, sa fertilité, ou contrôler les BIO-AGRESSEURS telluriques.

Expérimentation système — Expérimentation qui vise à évaluer des systèmes de culture, c'est-à-dire des ensembles cohérents de choix techniques. Elle se distingue de l'expérimentation factorielle où on compare des variantes techniques élémentaires.

Externalité — Activité qui affecte des tiers en bien ou en mal, sans compensation financière dans un cas comme dans l'autre.

Facteur de production — Bien de production, tel le travail, la terre et le capital. Ce sont les ressources nécessaires à la production de biens et de services. Également appelés *inputs* ou « intrants ».

Hyperparasitoïde – PARASITOÏDE de parasitoïde (voir Lavigne *et al.*, p. 181 dans ce livre).

IFT — L'indice de fréquence des traitements comptabilise les traitements effectués pour une campagne culturale, en prenant pour chaque traitement la valeur correspondant à la dose appliquée divisée par la dose homologuée (dose à l'hectare), soit une valeur de 1 pour un traitement appliqué en plein à la dose homologuée.

Infestation, infection — Voir BIO-AGRESSEUR.

Introgesser un gène de résistance — Transférer un gène de résistance d'une variété (qui par exemple ne présente pas des qualités commerciales suffisantes) vers le pool génétique d'une autre variété.

Lutte biologique — Utilisation d'êtres vivants (ou, au sens large, de leurs produits) pour limiter le développement des BIO-AGRESSEURS et (ou) les dommages aux plantes cultivées (voir également Ratnadass, p. 169 dans ce livre).

Nématode à galles — Les nématodes *Meloïdogyne* sont des vers ronds de la famille des *Tylenchida*. Le genre *Meloïdogyne* est constitué de plusieurs espèces phytophages, et cause des dégâts importants en particulier aux cultures horticoles. Un produit nématocide est un produit d'origine chimique ou biologique qui a une action de destruction sur un ou des stades de développement des nématodes.

Paradigme de co-développement — La conception faite du co-développement est proche de celle adoptée par le comité des ministres du Conseil de l'Europe. Ainsi le co-développement, comme processus de développement partagé entre le Nord et le Sud, peut être défini comme toute action de développement social, économique, culturel et politique fondée sur une collaboration entre les migrants, leurs organisations et leurs partenaires, publics et privés, à la fois dans les pays d'origine et dans les pays d'accueil, considérant qu'il s'inscrit dans le cadre global des discussions liées à l'intégration, aux migrations et au développement.

Paradigme de participation — Le paradigme de participation est compris dans le présent contexte comme l'ensemble des éléments qui forment un champ d'interprétation de la participation, celle-ci étant entendue comme l'ensemble des tentatives de donner un rôle aux individus dans une prise de décision.

Parasitoïde — Voir AUXILIAIRE.

Processus « bottom-up » — Processus lié à la plante, et qui affecte les niveaux trophiques supérieurs dans la chaîne alimentaire, en particulier les herbivores, parmi lesquels les RAVAGEURS.

Processus « top-down » — Processus lié à l'action des AUXILIAIRES, et qui affecte les niveaux trophiques inférieurs, en particulier les RAVAGEURS.

Production intégrée — Ensemble de pratiques qui vise une croissance optimale des cultures (et pas seulement le contrôle des BIO-AGRESSEURS) en mobilisant toutes les composantes de l'agro-écosystème et notamment les régulations naturelles.

Protection intégrée — Ensemble de pratiques qui cherche à limiter au maximum la lutte chimique par l'intégration de moyens de lutte tels la lutte biologique ou biotechnique ainsi que par des moyens culturaux.

Prototype — Modèle de système (de culture par exemple) issu de la réflexion de chercheurs et (ou) d'experts dans la phase de conception, qui doit ensuite être mis à l'épreuve en condition réelle.

Ravageur — Voir BIO-AGRESSEUR.

Régulation naturelle — Voir AUXILIAIRE.

Service écosystémique — Voir BIODIVERSITÉ.

Solarisation — Technique de désinfection thermique des sols. L'augmentation de température provient du piégeage de l'énergie solaire par une bâche plastique transparente posée sur le sol.

Système de culture — Ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur une ou des parcelles dans un objectif de production.

Système socio-technique (dans le secteur agro-alimentaire) — Système d'acteurs et d'institutions qui englobe les filières de production, de transformation, de distribution, mais aussi le conseil technique, la recherche, les politiques publiques, les consommateurs et la société civile.

Trait biologique, trait fonctionnel — Caractéristique morphologique (*ex.* : taille), physiologique, phénologique, comportementale (*ex.* : reproduction, alimentation), écologique (*ex.* : préférence de milieu)... définie et mesurable à l'échelle de l'individu. Un trait fonctionnel affecte fortement la performance d'un individu, par effet sur sa croissance, sa survie ou sa reproduction. (d'après Garnier et Navas, 2012, *Agron. Sustain. Dev.* 32 : 365-399).

Vulgarisation agricole — On entend ainsi toute action consistant à mettre à la portée de tous les agriculteurs d'une même région ou d'une même catégorie des connaissances de progrès technique, économique et social, permettant à ces agriculteurs d'élever leur niveau de vie, compte tenu de la politique agricole définie par les pouvoirs publics.



Les auteurs

Alaphilippe Aude aude.alaphilippe@avignon.inra.fr
INRA, UERI (Unité expérimentale recherches intégrées) Gotheron PACA
26320 Saint-Marcel-les-Valence — France

Bouvier Jean-Charles jean-charles.bouvier@avignon.inra.fr
INRA, UR PSH (Plantes et systèmes de culture horticoles)
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

Deguine Jean-Philippe jean-philippe.deguine@cirad.fr
CIRAD, UMR PVBMT (Peuplements végétaux et bioagresseurs en milieu tropical)
Station de Ligne-Paradis — Pôle de protection des plantes
7, chemin de l'IRAT — 97410 Saint-Pierre — La Réunion

Franck Pierre pierre.franck@avignon.inra.fr
INRA, UR PSH (Plantes et systèmes de culture horticoles)
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

Lamine Claire Claire.Lamine@avignon.inra.fr
INRA, UR Écodéveloppement
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

Lauri Pierre-Éric lauri@supagro.inra.fr
INRA, UMR AGAP (Amélioration génétique et adaptation des plantes)
Campus CIRAD Lavalette
Avenue Agropolis — 34398 Montpellier cedex 5 — France

Lavigne Claire claire.lavigne@avignon.inra.fr
INRA, UR PSH (Plantes et systèmes horticoles)
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

Le Bellec Fabrice lebellec@cirad.fr
CIRAD, UPR HORTSYS (Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles)
Station de Bassin-Plat — BP 180 — 97455 Saint-Pierre cedex — La Réunion

Le Gal Pierre-Yves pierre-yves.le_gal@cirad.fr
CIRAD, UMR Innovation
34398 Montpellier cedex 5 — France

Lesueur-Jannoyer Magalie magalie.jannoyer@cirad.fr
CIRAD, UPR HORTSYS (Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles)
Campus AgroEnvironnemental Caraïbe
Petit Morne — 97285 Le Lamentin cedex 2 — France

Malézieux Éric eric.malezieux@cirad.fr
CIRAD, UPR Hortsys (Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles)
34398 Montpellier cedex 5 — France

Maugin Sandrine sandrine.maugin@avignon.inra.fr
INRA, UR PSH (Plantes et systèmes de culture horticoles)
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

Moustier Paule moustier@cirad.fr
CIRAD, UMR Moisa (Marchés, organisations, institutions et stratégies d'acteurs)
34398 Montpellier cedex 5 — France

Navarrete Mireille mireille.navarrete@avignon.inra.fr
INRA, UR Écodéveloppement
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

Normand Frédéric frederic.normand@cirad.fr
CIRAD, UPR HORTSYS (Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles)
Station de Bassin-Plat — BP 180 — 97455 Saint-Pierre cedex — La Réunion

Olivares Jérôme jerome.olivares@avignon.inra.fr
INRA, UR PSH (Plantes et systèmes de culture horticoles)
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

Parrot Laurent laurent.parrot@cirad.fr
CIRAD, UPR HORTSYS (Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles)
34398 Montpellier cedex 5 — France

Penvern Servane servane.penvern@avignon.inra.fr
INRA, UR Écodéveloppement
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

Plénet Daniel Daniel.Plenet@avignon.inra.fr
INRA, UR PSH (Plantes et systèmes de culture horticoles)
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

Ratnadass Alain alain.ratnadass@cirad.fr
CIRAD, UPR HORTSYS (Fonctionnement agroécologique et performances des systèmes de culture horticoles)
34398 Montpellier cedex 5 — France

Simon Serge serge.simon@cirad.fr
CIRAD, UPR HORTSYS (Fonctionnement agroécologique et performances
des systèmes de culture horticoles)
INRAB, station d'Agonkanmey — PCM/CRA-PP/INRAB
01 BP 884 Recette Principale — Cotonou — Bénin

Simon Sylvaine simon@avignon.inra.fr
INRA, UERI (Unité expérimentale recherches intégrées) Gotheron PACA
26320 Saint-Marcel-les-Valence — France

Tchamitchian Marc marc.tchamitchian@avignon.inra.fr
INRA, UR Écodéveloppement
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

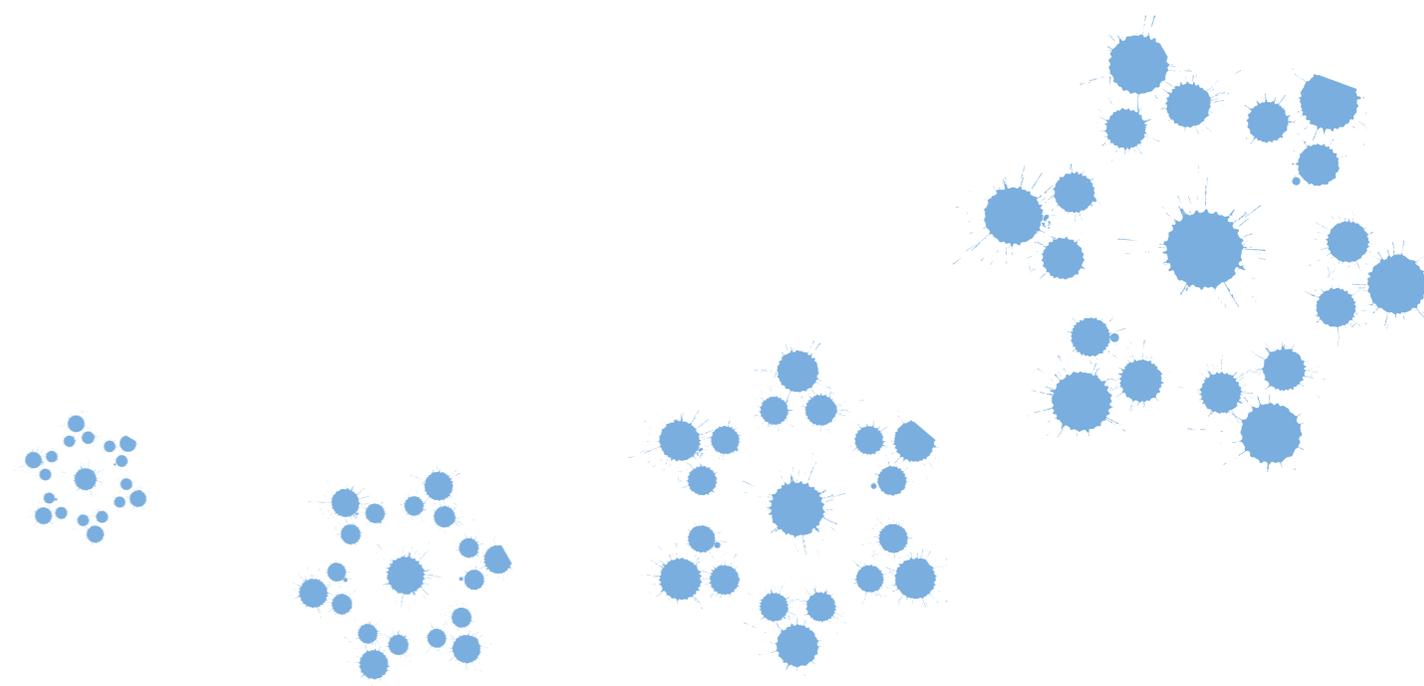
Temple Ludovic ludovic.temple@cirad.fr
CIRAD, UMR Innovation
34398 Montpellier cedex 5 — France

Thomas Cécile cecile.thomas@avignon.inra.fr
INRA, UR PSH (Plantes et systèmes de culture horticoles)
Domaine Saint-Paul — Site Agroparc — CS 40509
84914 Avignon cedex 9 — France

Toubon Jean-François jean-francois.toubon@avignon.inra.fr
INRA, UR PSH (Plantes et systèmes de culture horticoles)
Site Agroparc — CS 40509 — 84914 Avignon cedex 9 — France

Valantin-Morison Muriel muriel.morison@grignon.inra.fr
AgroParisTech, UMR Agronomie
78850 Thiverval-Grignon — France

Vidogbena Faustin vifaroho@yahoo.fr
Centre régional de promotion agricole Atlantique/Littoral — 01 BP 648
et Université d'Abomey-Calavi — BP 526
Cotonou — Bénin



Typographie, traitement des images et mise en pages
Bruno Savin, Nolwenn Couëtoux, Nantes

Imprimé par Print-Ouest à Bouaye

© FormaSciences, FPN, INRA • Juillet 2014

Ce livre présente les contributions à l'école-chercheurs qui clôturait le projet EcoHort, financé par Agreenium et dédié à la conception de systèmes innovants en horticulture, et qui a rassemblé à Sète (Hérault), du 11 au 14 mars 2013, des équipes pluri-disciplinaires de l'INRA, du CIRAD, de Montpellier SupAgro et d'Agrocampus Ouest.



L'ouvrage fait le point sur les concepts principaux à la base du développement de systèmes horticoles écologiquement innovants et économiquement performants, autour de trois champs disciplinaires complémentaires et en interaction : conception, biologie et écologie, socio-économie. Pour chaque champ, les bases théoriques et méthodologiques sont présentées, ainsi que des cas concrets en arboriculture et en maraîchage, dans des conditions tempérées et tropicales.

ISBN 2-7380-1360-0
EAN : 978 273 801 3606

