

Agronomie

environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie

Agronomie et Grenelle de l'environnement

- Grenelle de l'environnement, agriculture, développement durable
- Vers une nouvelle façon d'appréhender et gérer la santé des plantes ?
- Lutte contre l'effet de serre et efficacité énergétique : comment faire converger performance environnementale et performance économique ?
- Gestion durable des ressources en eau et milieux aquatiques : quelle place de l'agronomie dans leur nécessaire gestion territoriale ?
- Agriculture HVE (haute qualité environnementale), slogan ou objectif réaliste ? Une gestion environnementale à cibles multiples est-elle intégrable au niveau des exploitations agricoles et des territoires ?

La protection intégrée des cultures : un nécessaire changement de paradigme

The integrated pest management: a necessary paradigm shift

Pierre Ricci*, Claire Lamine**, Antoine Messéan***

* Inra Antibes, Sophia-Antipolis, 400 route des Chappes - BP 167 06903 Sophia-Antipolis

pierre.ricci@sophia.inra.fr

**Inra Avignon, Domaine Saint-Paul, Site Agroparc 84914 Avignon Cedex 9, clamine@avignon.inra.fr

***Inra Versailles-Grignon, RD 10 - Route de Saint-Cyr 78026 Versailles cedex, messean@grignon.inra.fr

Résumé

Appuyé sur les travaux interdisciplinaires réalisés dans le cadre du projet GéDuPIC et du réseau d'excellence européen Endure, cet article aborde la nécessité, dans la perspective d'un passage à la protection intégrée des cultures, de passer d'un paradigme d'efficacité ou de substitution à un paradigme de redéfinition des systèmes. Cette redéfinition concerne à la fois l'échelle des exploitations et l'échelle plus large du système socio-technique défini comme englobant les exploitations et leurs stratégies, mais aussi le conseil, la sélection variétale, la recherche, les filières aval, et les politiques publiques.

Mots clés : protection intégrée, interdisciplinarité, transitions, innovation, système sociotechnique

Abstract

Based on interdisciplinary studies carried out within the GéDuPIC research project and the Endure European network of excellence, this paper shows how the transition towards IPM makes it necessary to shift from the efficiency and substitution paradigms towards a system redesign paradigm. This redesign involves both the farming systems but also the larger sociotechnical system defined as encompassing the farms and their strategies, the advisory sector, the selection and breeding sector, the research sector, the food chain actors, and the public policies.

Keyword: Integrated pest management, interdisciplinarity, farming system change, innovation, sociotechnical system

Introduction

Comment les agriculteurs s'adaptent-ils et s'adapteront-ils au nouveau cadre progressivement défini par les politiques publiques tant à l'échelle européenne (Directive Pesticides : passage de toute l'agriculture européenne en « protection intégrée » en 2014) que nationale (Ecophyto 2018 : 50% de réduction d'usage des pesticides « si possible ») et au passage d'un mode jusqu'alors essentiellement incitatif à un mode plus coercitif engageant des obligations de résultats ?

Il y a évidemment de multiples manières d'aborder ces changements. Certaines approches visent à analyser les conditions et processus de changement pour les agriculteurs, que cela soit sous l'angle des techniques agronomiques mises en œuvre, de leur viabilité économique, ou des aspects sociaux des transitions (voir sur la production intégrée et l'agriculture biologique, Barbier et Bellon, 2010). D'autres approches se centrent sur les interdépendances dans lesquelles s'inscrivent les agriculteurs ; elles s'intéressent par exemple au rôle des politiques publiques dans une perspective plus large d'écologisation (Deverre et de Sainte Marie, 2008), ou bien, dans une perspective dynamique, aux changements à l'échelle du système sociotechnique dans son ensemble, en tant qu'il englobe les exploitations et leurs stratégies, mais aussi le conseil, la sélection variétale, la recherche, les filières aval, et les politiques publiques (Vanloqueren et Baret, 2008).

Dans cette présentation s'appuyant sur les travaux réalisés dans le cadre du projet ANR GéDuPIC¹ et du réseau d'excellence européen Endure, et sur nos compétences dans trois disciplines complémentaires (pathologie, sociologie et agronomie), nous nous proposons de combiner ces deux types de lectures.

Dans un premier temps, nous montrerons à partir de l'exemple du blé tendre, comment au cours des quatre dernières décennies s'est dessinée une trajectoire socio-technique au fil de laquelle se cristallise et se renforce le paradigme de l'intensification. Cette trajectoire se « verrouille » progressivement, ce qui empêche des retours en arrière, malgré certaines impasses, et conduit à une marginalisation des voies alternatives. Dans

¹ Les résultats de ce projet (Gestion Durable de la Protection Intégrée des Cultures) sont valorisés dans Ricci et al., 2011.

une deuxième partie, nous verrons comment cette transition peut se décliner au niveau des agriculteurs et les difficultés liées à ces effets de verrouillage. Nous nous appuyons pour cela sur le cadre ESR (Efficience des intrants, Substitution d'intrants, et Reconception du système), formalisé en particulier par Hill et MacRae (1995), qui structure les « niveaux de ruptures » établis dans les groupes de travail Ecophyto R&D récemment. Les travaux de ces derniers montrent que, pour la plupart des productions, atteindre 50% de réduction des pesticides implique de reconcevoir les systèmes de production. Nous soulignerons la contradiction entre cette nécessité de reconception et la réalité des trajectoires des agriculteurs, où les changements et les innovations interviennent en général sur un mode incrémental et progressif, contradiction que les agriculteurs arrivent pourtant souvent à dépasser.

Nous montrerons ensuite que cette reconception des systèmes s'appuie sur la combinaison de techniques à effets partiels et sur l'articulation d'échelles multiples, à la fois spatiales et temporelles. Elle engage aussi des tensions organisationnelles et économiques que dévoile bien une analyse interdisciplinaire.

En quatrième partie, nous développerons l'argument que reconcevoir les seuls systèmes de production sans rien changer au reste du système sociotechnique, ne suffit pas. Par exemple, la conception (et l'inscription) de variétés adaptées, tout comme les critères de qualité visuels des produits, sont des éléments clés de facilitation ou de blocage des transitions. Nous discuterons, pour finir, les conséquences sur le développement et la recherche.

Renforcement du paradigme de l'intensification et effets de verrouillage dans le système sociotechnique

Le projet GéDuPIC a montré, sur les cas des cultures du blé et du pommier, comment s'est façonné au fil des décennies le modèle dominant de protection des cultures fondé sur la protection chimique et comment les alternatives à ce modèle ont été marginalisées. Notre approche s'est appuyée sur les théories des transitions : en opposition aux théories classiques postulant un déterminisme unidimensionnel lié soit au marché soit à l'innovation, elles partent de l'idée que les trajec-

toires technologiques se caractérisent par une causalité multidimensionnelle liée aux interactions entre innovations scientifiques, facteurs économiques, variables institutionnelles, ce qui génère de puissants effets d'exclusion des voies alternatives (Dosi, 1982). En suivant cette approche, nous avons retracé une trajectoire sociotechnique qui implique progressivement un vaste ensemble d'acteurs, à tous les niveaux du système, celui-ci englobant non seulement les filières de production, de transformation et de distribution (ce qu'on appelle d'ordinaire le système « agro-alimentaire »), mais aussi sélection variétale, recherche, conseil technique, politiques publiques et instances de régulation (ce pourquoi on parle de système « sociotechnique »).

C'est ainsi que s'est renforcé le modèle productiviste, fondé sur la rationalisation et le contrôle des processus biologiques, dans une optique de maximisation du potentiel de rendement des plantes cultivées. Ce modèle est parvenu à résister aux pressions externes, liées notamment aux dénonciations des effets des pesticides sur l'environnement et sur la santé, et aux impasses qui le caractérisent, grâce à l'articulation étroite des différents niveaux du système sociotechnique générant au fil du temps des effets de « verrouillage » et de « dépendance au chemin »² (Liebowitz et Margolis, 1995).

D'autres auteurs avaient déjà décrit la mise en place, au plan technique, d'une logique d'intensification de la production du blé, liée notamment à la disponibilité d'une panoplie d'intrants permettant potentiellement de maîtriser tous les facteurs limitants de la production (Meynard et Girardin, 1991). Des approches historiques avaient de leur côté montré comment, avec le développement des régulateurs de croissance et des fongicides, le critère de la résistance aux maladies a été négligé au bénéfice du rendement dans la sélection et l'inscription des variétés, l'adaptation aux conditions pédoclimatiques disparaissant aussi des critères prioritaires (Hocheau, 2008).

Dans le cadre de GéDuPIC, nous avons retracé de manière plus complète cette évolution en recen-

² La notion de *path dependency* (dépendance au chemin) permet d'expliquer la stabilité des technologies dominantes : la sensibilité aux conditions initiales d'émergence des technologies et les effets de rendement croissant font que des technologies ayant des performances et fonctions similaires et peut-être des potentiels de long terme supérieurs, sont mises de côté.

sant les éléments et événements significatifs apparaissant à chaque niveau du système sociotechnique (innovations en matière de protection chimique, sélection variétale, itinéraires techniques, stratégies d'exploitation, stratégies des filières, et politiques publiques) au fil des décennies 1960 à 2000. Cette mise à plat a permis de repérer, dans la trajectoire sociotechnique de la culture du blé, trois principales phases : la modernisation agricole et le développement des pesticides chimiques (années 1960 et 1970); le tournant de l'intensification (autour de 1980); la résistance du régime intensif aux critiques et la marginalisation des voies alternatives (années 1990 et 2000), précédant l'affirmation d'une volonté politique de changement de modèle dans la période récente.

Figure 1 : Verrouillage sociotechnique : le cas du blé

La modernisation agricole	Le tournant de l'intensification	La résistance aux critiques	La période de questionnement
Homologation insecticides de synthèse, régulateurs de croissance	Homologation et essais fongicides, herbicides systémiques Travaux sur la fertilisation : fractionnement et bilan azoté	Du curatif au système... Changement des méthodes de fertilisation Semis plus denses et plus précoces	Apparition des premières résistances aux fongicides
1960s	1970s	1978-1984	1983
			1985-1993
			1ères variétés multi-résistantes aux maladies Travaux sur les itinéraires bas niveaux d'intrants
			Réforme de la PAC Variabilité des prix Dispositifs publics : MAE, CTE Réseaux variétés rustiques itinéraires bas intrants
			1993-2006

Ainsi, le tournant de l'intensification, qui se produit dans les années 1978-1984, résulte de la convergence d'un ensemble d'innovations touchant à des techniques différentes (fertilisation, sélection des variétés, homologation des pesticides...), qui se complète d'une croissante interdépendance des acteurs (agriculteurs, conseil, collecte, industries phytosanitaires, etc.), autour d'un modèle intensif en intrants. Si jusque-là, les pesticides apparaissent comme une solution de rattrapage, ils deviennent à cette époque une composante centrale des itinéraires techniques, en permettant de

nouvelles stratégies d'assurance combinées avec des stratégies de maximisation du potentiel de rendement³.

Du fait de ces interdépendances, la réforme de la PAC, le développement des pressions sociétales liées à l'impact environnemental des pratiques intensives, et les périodes de baisse des prix du blé des années 1990, n'ont pas entraîné un tournant inverse. Si tout au long des années 1990 et 2000 ont émergé des alternatives autorisant une désintensification (variétés de blé résistantes et itinéraires bas intrants; cf. Rolland *et al.*, 2003), les acteurs institutionnels du développement et du conseil (chambres d'agriculture, instituts techniques) ont tardé à en diffuser les avancées, tandis que les opérateurs de l'aval demeuraient réticents du fait des exigences de qualité liées à l'industrialisation de la filière et aux difficultés d'écoulement du blé. Toutefois, les évolutions récentes semblent inviter à une transition plus radicale.

Une analyse similaire conduite dans le cas du pommier, que nous ne reprendrons pas ici, révèle une chronologie assez semblable, avec deux grandes différences : la présence d'une amorce de voie alternative liée à la lutte biologique; et une trajectoire qui s'ancre à une échelle plus internationale, du fait de l'organisation de réseaux autour de la lutte biologique.

Dans le cas du pommier comme du blé, les alternatives ont donc été progressivement marginalisées par la force des stratégies dominantes et par l'inertie liée aux interdépendances dans le système. Une lecture ancrée dans les théories des transitions (Geels et Schot, 2007) montre que ces alternatives ou « innovations de niche » n'ont pas réussi à percoler dans le régime technologique et à infléchir son cours de manière significative, malgré des pressions externes et son manque intrinsèque de durabilité (apparitions de résistances aux pesticides et course aux matières actives). C'est qu'un réel changement de régime suppose à la fois des pressions sur le régime et une coordination des ressources disponibles dans et hors du régime pour s'adapter à ces pressions. Or, si les

³ L'un des révélateurs de ce tournant semble être le Forum du Blé organisé en 1979 par l'ITCF. Pour plus de détail, voir Ricci *et al.*, 2011.

pressions sur le régime actuel sont incontestables, les innovations alternatives sont-elles suffisamment développées pour « percoler », se substituer aux techniques dominantes, et permettre une reconfiguration profonde ? Et plus encore, les nécessaires processus de coordination sont-ils à l'œuvre ? Notre analyse, rejoignant en partie les conclusions de travaux antérieurs (Vanloqueren et Baret, 2008), davantage centrés sur les jeux des acteurs, montre que les effets de verrouillage et d'interdépendance identifiés ici sur la base d'une analyse sociohistorique, restent forts aujourd'hui et rendent une telle reconfiguration problématique. Cette analyse n'est qu'une première étape pour imaginer comment pourraient être contournés les obstacles au changement de système. Il est maintenant nécessaire de revenir au niveau plus concret des agriculteurs et de leurs pratiques.

Une lecture des changements de pratiques au prisme du cadre ESR (Efficience, Substitution, Reconception)

À une étape où l'agriculture doit passer d'un schéma éprouvé et général à des solutions nouvelles, plus complexes, plus diverses et encore incertaines, doit-on penser la transition comme une trajectoire linéaire inscrite dans une démarche de progrès et selon un processus incrémental ou comme une rupture permettant la conception de systèmes de gestion radicalement différents ? Pour aborder cette question, nous nous sommes appuyés sur la grille ESR, Efficience, Substitution, Reconception, proposée par Hill et MacRae (1995) et souvent reprise pour décrire des niveaux de transition vers une agriculture écologique. En matière de protection des cultures, ce modèle classe les solutions en trois groupes :

1. Des méthodes qui améliorent l'efficience (niveau E) des intrants. On peut citer les méthodes de pulvérisation de précision qui permettent de réduire les volumes de produit en le localisant sur sa cible et de limiter la pollution diffuse, ou encore les modèles de prévision des épidémies. Si ces méthodes optimisent l'usage des pesticides existants, elles ne répondent pas à la question de l'appauvrissement prévisible du nombre et de la diversité des matières actives disponibles.

2. Des pratiques qu'on peut substituer (niveau S) aux pesticides avec un impact environnemental moindre. Les alternatives sont diverses : biopesticides, lutte biologique par augmentation, désherbage mécanique, choix variétal, méthodes prophylactiques. Toutefois, si les solutions de substitution permettent de réduire l'utilisation des pesticides, elles n'exonèrent pas des pressions fortes des bioagresseurs et laissent tributaire de méthodes de lutte pour y remédier. La combinaison de techniques à effets partiels, que nous abordons plus bas, semble en revanche plus efficace, mais conduit à penser la transition en termes de reconception plus que de substitution.

3. Ainsi la réduction de la dépendance aux pesticides appelle à une reconception du système de production (niveau R). Il s'agit ici de passer du modèle de production conventionnel, fondé notamment sur des variétés productives mais souvent sensibles, sur une fertilisation élevée, et sur la disponibilité de solutions chimiques contre les problèmes phytosanitaires, à un système intrinsèquement moins vulnérable et plus robuste, et par là même moins dépendant de l'usage des pesticides.

Dans GéDuPIC, nous avons analysé un ensemble de trajectoires d'agriculteurs à l'aide de cette grille. Dans le cas des grandes cultures, le paradigme d'efficience se traduit par l'usage d'outils d'aide à la décision (kit de détection de maladies, modèles épidémiologiques, seuils visuels de traitement). Il s'agit souvent d'agriculteurs qui se sont tournés vers une version « faible » de la Protection Intégrée des Cultures (PIC), dans laquelle seule une partie des principes⁴ sont appliqués – par exemple, les rotations ne sont pas allongées. Il s'agit aussi de transitions vers la PIC qui peuvent être qualifiées de réversibles, des prix des céréales en hausse conduisant parfois à une réintensification des pratiques.

Les agriculteurs qui se situent dans un paradigme de redéfinition du système sont dans l'optique de mettre en place des solutions « agronomiques » à la place de solutions « chimiques ». Ils adoptent une version plus ambitieuse de la PIC, mobilisant un ensemble de principes plus larges et débordant la seule culture du blé, et qu'ils mettent en œuvre

⁴ Qui englobent le choix de variétés de blé résistantes aux maladies et à la verse, une conduite culturale (semis, fertilisation) limitant les attaques des bio-agresseurs, une diversification des cultures pour limiter les mauvaises herbes et les résistances aux produits.

en général de manière progressive. Leurs changements techniques apparaissent plus robustes. Nos études sociologiques montrent la contradiction entre la nature du changement technique au long des trajectoires d'agriculteurs, plutôt de type incrémental, et la nécessité de changements plus globaux pour parvenir à une redéfinition des systèmes. Certains agriculteurs réussissent pourtant à surmonter cette contradiction en étant à la fois progressifs dans leurs changements et systémiques dans leur vision⁵. L'accompagnement et les dynamiques collectives jouent aussi un rôle important. Les dynamiques de groupe favorisent des processus de reconception des systèmes. La participation à un groupe (en l'occurrence, un collectif d'agriculteurs accompagné par un conseiller, qui se réunit régulièrement pour travailler sur l'évolution de leurs pratiques techniques) permet aux producteurs de définir clairement les pratiques qu'ils avaient déjà, bon an mal an, mises en place au sein de leurs exploitations, de se situer les uns par rapport aux autres, de profiter de l'expérience des autres, de parler de leurs impasses techniques et de rechercher des solutions. Elle leur permet également de se construire une reconnaissance professionnelle collective ou une réassurance entre pairs alors que leur entourage professionnel, que ce soit dans le voisinage ou dans les réseaux syndicaux et professionnels, reste majoritairement sceptique (Lamine, 2011). Enfin, il semblerait que les dynamiques collectives rendent les transitions plus robustes et moins réversibles, hypothèse qui reste à explorer plus avant.

Combinaison de méthodes à effets partiels et combinaison d'échelles spatio-temporelles

Si des moyens alternatifs existent pour un grand nombre de bioagresseurs, il n'existe pas de solution 'miracle' non chimique. Chacun des moyens alternatifs disponibles (résistance variétale partielle, lutte physique ou encore méthodes de régulation biologique) n'a généralement qu'une efficacité limitée, surtout lorsqu'elle est comparée aux niveaux de contrôle attendus avec des traitements pesticides. C'est bien l'efficacité limitée de

ces techniques alternatives qui restreint les possibilités de Substitution (le 'S' de la grille ESR). La réduction significative de l'usage de pesticides, voire leur suppression (pour le cas de l'AB, voir Penvern et al., 2010) nécessite donc de combiner les méthodes entre elles, en recherchant des complémentarités, voire des synergies quand c'est possible, dans le cadre de stratégies de Reconception (le 'R' de la grille ESR) du système de culture.

Sur la base des résultats de trois dispositifs expérimentaux en arboriculture et en grandes cultures, le projet GéDuPIC a montré comment la combinaison de techniques à effets partiels permet à la fois de réduire le niveau d'usage de pesticides et de maîtriser les bioagresseurs.

Le dispositif expérimental « Reine des Reinettes » à Angers permet de tester l'efficacité et les modalités pratiques d'association de trois méthodes de lutte à effets partiels contre la tavelure : la résistance variétale, la prophylaxie et des traitements fongicides allégés et raisonnés en fonction d'un seuil. Le nombre de traitements réalisés dans cet essai représente une réduction de 54 à 74 % de l'IFT (Indice de Fréquence de Traitements) 'tavelure' par rapport à l'IFT 2006 Val de Loire (Sauphanor et al., 2009). L'association des différentes méthodes de lutte à effets partiels s'avère donc efficace.

Le dispositif BioReCo installé à Gotheron étudie la combinaison de trois modes de raisonnement de la lutte chimique (RAIsonné c'est-à-dire protection chimique à bon escient, EConome en intrants, c'est-à-dire une stratégie PIC privilégiant les méthodes alternatives, et Agriculture BIOlogique) sur des vergers de pommiers plantés de variétés différant par leur résistance à la tavelure : sensible ('Smoothee'), partiellement résistante ('Melrose') ou totalement résistante ('Ariane'). La moyenne 2006-2009 de l'IFT indique une réduction de 43% à 56% dans les parcelles 'Melrose' et 'Ariane' des systèmes économe et biologique par rapport à la parcelle la plus traitée. Les résultats des essais montrent que le choix de la PIC ne conduit pas à une réduction sensible du nombre d'applications sur une variété sensible, alors que l'effet est très important sur une variété partiellement résistante. Ainsi, mode de raisonnement de la lutte chimique et caractéristiques variétales se valorisent mutuellement : c'est la combinaison des deux qui constitue une solution innovante.

Concernant les grandes cultures, une expérimentation 'système' permettant d'évaluer les performances de cinq systèmes de culture, définis *a priori* en termes de stratégies de gestion des adventices et de contraintes correspondant à des exploitations-types, montre que les systèmes de protection intégrée (combinant tous les moyens de lutte possible, y compris le désherbage méca-

⁵ Voir le chapitre consacré à ce point dans Ricci et al., 2011 ainsi que les travaux réalisés dans le projet ANR Systerra POPSY.

nique et l'application d'herbicides si nécessaire) permettent de réduire l'utilisation d'herbicides tout en offrant une maîtrise satisfaisante des adventices⁶.

De manière globale, dans ces trois dispositifs, l'efficacité de la combinaison de techniques à effets partiels est démontrée.

Le projet s'est aussi intéressé à la combinaison des échelles de temps et d'espace à la dimension des processus écologiques.

La question des effets de la complexité du paysage sur les densités d'auxiliaires et de bioagresseurs a été testée concrètement sur le cas du carpocapse à l'échelle de la zone de 70 km² « Vergers de la basse vallée de la Durance », diversifiée en termes de composantes paysagères, d'organisation spatiale et de pratiques. L'analyse par approche corrélative montre que les densités de carpocapses ne dépendent pas uniquement des caractéristiques locales de la parcelle observée mais également de celles des parcelles et éléments non cultivés dans un rayon de 150 mètres autour du verger (Ricci et al. 2009).

Ainsi, ces résultats font la démonstration de l'intérêt d'élargir les échelles spatiales, en montrant que l'agencement spatial des variétés, des parcelles, et des autres composantes du paysage, peut avoir une fonction régulatrice des populations de bioagresseurs.

Pour les grandes cultures, c'est surtout la question des échelles temporelles qui est posée. Pour la quasi-totalité des espèces adventices, les semences peuvent survivre dans le sol plusieurs années et constituent donc un potentiel d'infestation pour les cultures suivantes de la rotation. La stratégie PIC doit se raisonner à une échelle pluriannuelle : la diversification des successions culturales permet de diversifier les périodes de semis et de limiter ce stock. Nos travaux montrent qu'il faut concevoir en premier lieu des adaptations stratégiques à l'échelle pluriannuelle du système de culture, la question corollaire étant celle de l'optimisation de la prise de décision tactique du traitement herbicide, pour laquelle il n'existe pas encore d'outil d'aide à la décision⁷.

À l'articulation entre agronomie et économie, les travaux de GéDuPIC montrent aussi comment des systèmes de protection intégrée contre les adventices peuvent, par modélisation, être passés au

crible de la rentabilité économique et de la faisabilité technique, en termes d'organisation du travail dans l'exploitation. Si la succession des cultures permet d'atteindre une bonne efficacité technique, sa mise en œuvre réelle crée des tensions d'organisation : bien qu'en protection intégrée les temps de travaux soient équivalents et globalement mieux répartis dans le temps, les semis tardifs de céréales d'automne s'insèrent mal dans le calendrier de travail, dans les systèmes considérés. Les solutions consistent à réduire la sole en blé en diversifiant les cultures, ou bien à augmenter le débit des chantiers de semis grâce à du matériel spécifique. Cela implique donc une réorganisation du système d'exploitation : la protection des cultures étant partie intégrante de ce système, elle doit être raisonnée à ce niveau (Munier-Jolain et Dongmo, 2010).

Il apparaît donc que les stratégies de gestion doivent être raisonnées au niveau d'un territoire plus large que la seule parcelle, à une échelle temporelle plus large que le cycle cultural des plantes annuelles, et à une échelle sociotechnique plus large que l'exploitation. Notons que l'agro-écologie revendique elle aussi ce triple changement d'échelle (Ollivier et Bellon, 2011).

Impulser les transitions en faisant évoluer le système d'innovation

Les travaux de GéDuPIC, comme ceux d'autres projets (Expertise collective Pesticides, Ecophyto R&D, Endure), mettent en évidence les effets de « verrouillage », mais aussi de complémentarité dus aux interactions des techniques de protection des cultures entre elles et avec les autres termes de l'itinéraire technique et les stratégies des exploitations agricoles, voire avec le conseil, les filières et les politiques publiques. Les démarches de conception, d'évaluation et de combinaison d'innovations doivent prendre en compte ces effets systémiques et permettre un ajustement coordonné des stratégies des différents acteurs.

Tout d'abord, il est nécessaire que les solutions techniques à assembler dans une perspective de combinaison de méthodes à effets partiels soient disponibles. Ceci s'applique en particulier au domaine de la sélection variétale, qui a un rôle tout à fait critique à jouer dans les transitions vers la PIC, celles-ci étant freinées par la faible disponibilité de génotypes adaptés. En effet, les objectifs priori-

⁶ Pour plus de détails voir Ricci et al., 2011.

⁷ Un tel outil est toutefois à l'étude pour le maïs dans le cadre du projet européen Endure.

taires des améliorateurs et les critères d'inscription au catalogue se sont calés sur le paradigme d'un libre recours à la lutte chimique. Or, on a mis en évidence une variabilité de réponse des variétés à des itinéraires techniques variés (Jeuffroy et Messéan, 2009). Il est donc nécessaire de bâtir les systèmes de culture en raisonnant conjointement conduites et variétés. Il faut en particulier développer des variétés performantes sur des critères actuellement non-recherchés (par exemple des variétés de blé compétitives vis-à-vis des adventices) et maintenir ou reprendre les efforts de sélection sur des espèces mineures utiles pour la diversification des rotations. Il ne s'agit donc plus d'adapter les systèmes et pratiques à un matériel génétique conçu dans une optique d'amélioration de la productivité des cultures majeures, mais de mettre au point un matériel génétique qui valorise au mieux des environnements, des systèmes de production et des pratiques agricoles déterminés par un ensemble de contraintes élargies. Cette analyse conduit à se pencher à nouveau sur l'optimisation de l'interaction génotype x environnement x pratiques.

De manière générale, l'adaptation des solutions innovantes aux conditions locales constitue un élément central de la mise en œuvre des principes de PIC. En effet, les mêmes principes de diversification ne vont pas générer les mêmes choix d'assolement, de rotation et de pratiques dans des régions différentes. Ceci est un défi pour la recherche et le développement qui peuvent s'appuyer sur un certain nombre d'approches, de méthodes et d'outils comme les réseaux de fermes pilotes (Reau et al., 2010).

Passer d'une vision segmentée qui s'intéresse aux méthodes de lutte ciblant individuellement les bioagresseurs dans une parcelle cultivée à une approche systémique cherchant à appréhender les relations complexes entre bioagresseurs, auxiliaires, pratiques culturales et environnement à l'échelle des agroécosystèmes, suppose une rénovation complète des pratiques de recherche et développement.

Compte-tenu de la diversité des situations et des stratégies individuelles, d'une part, et de la diversification probable des systèmes de culture à venir, d'autre part, l'enjeu pour le système de recherche et développement n'est plus tant de mettre au point des innovations « clés en mains » que de fournir les ingrédients et les outils élémen-

taires à combiner en fonction des caractéristiques des systèmes de production. Il s'agit donc de stimuler le flux d'innovations technologiques et organisationnelles, et de fournir des outils d'évaluation et de conception permettant aux opérateurs de choisir les innovations et les trajectoires d'innovation qui correspondent le mieux à leurs situations. Ce changement de paradigme auquel le système de recherche et développement est lui aussi confronté rejoint la notion de conception innovante, dans laquelle les objectifs des systèmes à construire et leurs composantes ne sont pas nécessairement déterminés à l'avance, de même que les modalités de leur validation et de leur adoption (Meynard, 2008).

La conception de systèmes innovants en réelle rupture doit s'appuyer sur l'évaluation *ex ante* et multicritère de leurs performances. Être capable d'évaluer des innovations le plus en amont possible signifie que les connaissances sur leurs performances seront le plus souvent fragmentaires et parfois limitées à des dires d'experts et qu'il faudra combiner données qualitatives et données quantitatives dans le processus d'évaluation. En outre, celui-ci devra inclure non seulement des critères étendus d'appréciation des performances (en termes d'impacts environnementaux, de viabilité économique et d'équité sociale), mais également la reconnaissance de différents systèmes de valeurs ou de préférences associés aux systèmes de production. L'évaluation doit donc être multicritère, multi-échelles et multi-acteurs, ce qui là encore fait écho à la démarche agroécologique.

DEXiPM, développé dans le cadre du réseau d'excellence Endure, est un outil d'évaluation *ex-ante* multicritère de la durabilité des systèmes de grande culture. Ce type d'outil permet de (i) pouvoir comparer, le plus en amont possible, les performances de systèmes innovants avec celles des systèmes actuels, (ii) sélectionner *a priori* les systèmes les plus prometteurs qui pourront alors être testés au champ (en station et/ou en fermes) et (iii) d'identifier les conditions facilitant l'adoption de ces systèmes innovants. Il est alors possible d'explorer, sans *a priori* excessif, une large gamme de solutions et de sélectionner les plus prometteuses sur la base de leur évaluation *ex ante*. C'est sur ces solutions prometteuses que se concentre ensuite l'effort de mise à l'épreuve par l'expérimentation ou du test en exploitation. Les données de terrain issues de cette mise à l'épreuve permettent de revenir à l'évaluation de manière plus documentée et fournissent la base d'un ajustement des stratégies innovantes dans un cycle de progrès. DEXiPM constitue aussi un outil de dialogue avec les agriculteurs et les autres parties prenantes, à la fois sur les choix de pondération adoptés pour l'évaluation et sur la prise en compte

des éléments de contexte et des conditions facilitatrices. Ainsi, la conception de systèmes innovants ne peut pas être un exercice de chercheurs « en vase clos », mais s'inscrire dans une démarche qui laisse aux acteurs leur part d'initiative dans la mise en œuvre du changement (Reau et al., 2010).

Enfin, agriculteurs et réseaux d'agriculteurs sont interdépendants de l'amont et de l'aval d'une ou plusieurs filières. Comment mobiliser les acteurs de ces filières pour accompagner le changement ? Dans la mesure où les critères de qualité des produits ont été définis dans le cadre d'une agriculture assurée d'une phytoprotection chimique radicale, ils peuvent constituer des facteurs de blocage de la reconception des systèmes s'ils ne sont pas réexaminés conjointement entre producteurs et acteurs de la transformation et de la distribution⁸. Ces mêmes acteurs sont-ils par ailleurs prêts à valoriser les efforts consentis par les agriculteurs pour la PIC par une reconnaissance des produits issus de modes de production plus durables ? Comment va se positionner le secteur coopératif qui, parce qu'il intervient souvent à la fois dans la fourniture d'intrants, dans le conseil et dans la collecte, parfois aussi dans la transformation et parce qu'il est ancré dans les territoires, est dans une position tout à fait cruciale pour contribuer, ou non, aux évolutions ?

Conclusion

Nous avons essayé de montrer comment la définition de nouveaux paradigmes en protection des cultures doit être pensée à l'échelle non de la seule culture ou parcelle, mais à celle de l'ensemble d'un système d'exploitation et plus largement du système sociotechnique. Nous n'avons pu développer ici les questions fondamentales du rôle possible des politiques et des instruments d'action publique (Sainte Marie et al., 2010). Une autre question qui mériterait d'être développée est celle de l'échelle territoriale. Dès lors qu'il devient nécessaire, comme nous l'avons vu, de prendre en compte des échelles spatiales qui dépassent les limites de l'exploitation, une coordination locale des acteurs devient nécessaire. C'est aussi le cas dans une optique de restructuration des filières de commercialisation visant à valoriser des pratiques bas intrants et/ou à diversifier des productions.

⁸ Ce point est également développé dans Ricci et al., 2011.

Le changement de paradigme en protection des cultures a des implications fortes sur la nature des innovations, qui doivent être développées non plus de manière compartimentée mais en raisonnant le système de production dans son ensemble. Pour conclure, nous voudrions insister sur quelques défis qui se posent pour la recherche. La tension entre la volonté de générer des ruptures dans les systèmes de culture et le constat que les changements dans les trajectoires des agriculteurs sont plutôt de nature incrémentale et s'inscrivent dans une dynamique socio-historique de long terme représente un véritable défi pour la recherche et rend l'interdisciplinarité centrale dans le processus de rénovation du système d'innovation. L'évaluation dynamique de trajectoires de changement de système, au niveau des exploitations comme à celui du système socio-technique, a nécessité d'associer dans GéDuPIC agronomes et sociologues ou économistes (pour l'étude des effets des dispositifs d'incitation). Le développement des recherches sur les interactions géotypes x environnement x pratiques suppose aussi d'accentuer les collaborations entre agronomie et amélioration des plantes. Enfin, nous avons montré la nécessité de dispositifs de recherche et expérimentaux inscrits dans la longue durée de manière à explorer les solutions en rupture et à les évaluer sur le long terme.

Bibliographie

- Barbier, J.-M., Bellon, S., 2010. Les transitions technologiques vers la Protection Intégrée et l'Agriculture Biologique en cultures pérennes. In: Muchnik, J., de Sainte Marie, C. (Ed.), *Le temps des SYAL: techniques, vivres et territoires*. QUAE, 171-210
- Deverre, C., de Sainte Marie, C., 2008. L'écologisation de la politique agricole européenne. Verdissement ou refondation des systèmes agro-alimentaires? *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*, 89, 83-104
- Dosi, G., 1982. Technological paradigms and technological trajectories. *Research Policy*, 11, 147-162
- Geels, F.W., Schot J., 2007. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36 (3), 399-417
- Hill, S. B., MacRae, R. J., 1995. Conceptual frameworks for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 7 (1), 81-87.
- Hochereau, F., 2008. Du productivisme à l'agriculture durable. Les vicissitudes de la prise en compte des résistances variétales dans la sélection du blé, in C. Bonneuil, G. Denis,

- J.-L. Mayaud (Ed.), *Sciences, chercheurs et agriculture – Pour une histoire de la recherche agronomique*, L'Harmattan.
- Jeuffroy M.-H., A. Messéan, 2009. Comment articuler modes d'évaluation des variétés, conduite des cultures et processus d'amélioration génétique? *Innovations Agronomiques*, 7, 1-13.
- Lamine, C., 2011. Anticiper ou temporiser. Injonctions environnementales et recompositions des identités professionnelles en céréaliculture, *Sociologie du travail*, 53(1), 75-92.
- Liebowitz, S.J., Margolis, E., 1995. Path-dependence, Lock-in and History. *Journal of Law, Economics and Organization*, 11 (1), 205-226.
- Meynard, J.M., 2008. Produire autrement : réinventer les systèmes de culture. In « *Des systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* » R.Reau et T Doré(Ed.), Educagri.
- Meynard, J.M., Girardin, P., 1991. Produire autrement. *Le Courrier de la Cellule environnement de l'INRA*, 15, 1-19.
- Munier-Jolain, N.M., Dongmo, A., 2010. Evaluation de la faisabilité technique de systèmes de Protection Intégrée en termes de fonctionnement d'exploitation et d'organisation du travail. Comment adapter les solutions aux conditions locales ? *Innovations Agronomiques* 8, 57-67.
- Ollivier, G., Bellon, S.. Ecologisation des sciences agronomiques : les agricultures alternatives dans la communauté scientifique internationale. Colloque Ecologisation, Avignon, mars 2011.
- Penvern, S., Bellon, S., Fauriel, J., Sauphanor, B., 2010. Peach orchard protection strategies and aphid communities : Towards an integrated agroecosystem approach, *Crop Protection*, 29 (10), 1148-1156.
- Reau, R., Mischler, P., Petit, M.S., 2010. Evaluation au champ des performances innovants en cultures arables et apprentissage de la protection intégrée en fermes pilotes. *Innovations Agronomiques*, 8, 83-103 .
- Ricci, B.; P. Franck; J.F. Toubon; J.C. Bouvier; B. Sauphanor; and C. Lavigne, 2009. The influence of landscape on insect pest dynamics: a case study in southeastern France. *Landscape Ecology*, 24(3), 337-349.
- Ricci, P., Bui, S., Lamine, C., 2011. *Innovations et transitions vers une protection écologique des plantes*, Educagri, à paraître.
- Rolland, B., Bouchard, C., Loyce, C., Meynard, J. M., Guyomard, H., Lonnet, P., Doussinault, G., 2003. Des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants pour des variétés rustiques de blé tendre: une alternative pour concilier économie et environnement. *Courrier de l'environnement*, 49, 47-62.
- De Sainte Marie C., Paratte R., Doussan I., 2010. Changer de dispositifs d'action publique : d'obligations de moyens à des innovations agri-environnementales ? *Innovations agronomiques*, 8, 135-147
- Sauphanor, B., Simon, S., Boisneau, C., Capowiez, Y., Rieux, R., Bouvier, J.C., Defrance, H. Picard, C., Toubon, J.F., 2009. Protection phytosanitaire et biodiversité en agriculture bio-
logique. Le cas des vergers de pommiers. *Innovations Agronomiques*, 4, 217-228.
- Vanloqueren, G., Baret, P.V., 2008. Why are ecological, low-input, multi-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study. *Ecological Economics*, 66, 436-446