



Émilie Coudel, Hubert Devautour, Christophe-Toussaint Soulard, Guy Faure et Bernard Hubert (dir.)

Apprendre à innover dans un monde incertain Concevoir les futurs de l'agriculture et de l'alimentation

Éditions Quæ

Chapitre 4 - Innover dans les systèmes de culture et de production

Jean-Marc Meynard

Éditeur : Éditions Quæ
Lieu d'édition : Éditions Quæ
Année d'édition : 2012
Date de mise en ligne : 30 janvier 2020
Collection : Synthèses
ISBN électronique : Synthèses



<http://books.openedition.org>

Référence électronique

MEYNARD, Jean-Marc. *Chapitre 4 - Innover dans les systèmes de culture et de production* In : *Apprendre à innover dans un monde incertain : Concevoir les futurs de l'agriculture et de l'alimentation* [en ligne]. Versailles : Éditions Quæ, 2012 (généré le 31 janvier 2020). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/quæ/21407>>.

Partie 2

Apprendre à innover aujourd'hui

Chapitre 4

Innover dans les systèmes de culture et de production

Jean-Marc MEYNARD

Les systèmes agricoles intensifs, fortement utilisateurs d'intrants chimiques (engrais, pesticides, produits vétérinaires), et largement mécanisés, dominent aujourd'hui l'agriculture des pays développés et s'affirment aussi dans de nombreux pays du Sud. Ils sont généralement plus productifs à l'hectare que les systèmes traditionnels ; ils sont également le plus souvent économes en main d'œuvre, et ont permis un accroissement sans précédent de la productivité du travail. On s'interroge cependant de plus en plus sur la durabilité de ces systèmes intensifs en intrants : ils sont gourmands en énergie fossile, producteurs de gaz à effet de serre, et globalement défavorables à la biodiversité ; ils polluent les eaux par des nitrates, des composés phosphoriques et des pesticides, etc. S'ils ont contribué à faire reculer les famines et à faire baisser le coût de l'alimentation des urbains, ils ont aussi participé à concentrer la production entre les mains de ceux qui avaient les moyens d'investir dans les intrants et dans la mécanisation, et contribué à accroître la vulnérabilité des paysans qui n'avaient pas accès à ces moyens (de Schutter, 2010).

La question est maintenant posée : ces systèmes intensifs en intrants doivent-ils se généraliser, en corrigeant leurs plus graves défauts, ou faut-il leur substituer d'autres formes d'agriculture ? Quels systèmes de production peut-on imaginer pour assurer aux populations rurales et urbaines la sécurité alimentaire et aux paysans un revenu régulier et suffisant, tout en économisant les ressources naturelles, et en favorisant l'expression des services écosystémiques et la cohésion sociale au niveau des territoires (FNH, 2009) ?

Dans ce chapitre, nous analysons les logiques agronomiques des systèmes actuels, et leurs déterminants économiques et sociaux, à partir d'exemples divers, en France et au Sud, pour apprécier leurs marges d'évolution, et le pas à franchir pour les rendre durables. Nous montrons qu'il faudra changer de logique agronomique, réinventer des systèmes agricoles en mobilisant des démarches d'ingénierie agro-écologique. Nous en tirons quelques propositions, concernant les orientations de la recherche & développement agricole et de l'action publique, visant à favoriser les nécessaires évolutions.

► Logiques agronomique, économique et sociale des systèmes agricoles intensifs en intrants : un exemple en France

L'intensification par les intrants s'inscrit dans des logiques globales, qui doivent être analysées simultanément aux plans agronomique, économique et social, et en prenant en compte non seulement ce qui se passe au niveau des exploitations agricoles, mais également des territoires et des filières. L'interconnexion de ces différents plans sera illustrée sur le cas des systèmes céréaliers du bassin de la Seine, au nord de la France.

La spécialisation des territoires et des systèmes de production

Depuis les années 1960, où ils dominaient l'agriculture du bassin de la Seine, les systèmes de polyculture-élevage ont partout reflué. Les régions du centre du Bassin, où les terres sont les plus fertiles, se sont spécialisées en céréaliculture, et l'élevage y a presque disparu. Dans les régions périphériques, l'élevage bovin a été intensifié par le développement du maïs ensilage et l'importation de tourteaux de soja. La figure 4.1, tirée de Schott *et al.* (2010), illustre les conséquences de cette évolution au niveau de l'occupation des sols : les cartes représentent l'assolement du bassin de la Seine (au nord-ouest, la côte normande, à l'est, la Bourgogne), soit environ 100 000 km², lors des recensements effectués par le ministère de l'Agriculture entre les années 1970 et 2000. On observe un accroissement des surfaces en céréales, et principalement en blé, particulièrement marqué dans la zone centrale du bassin (Île-de-France, Beauce, Brie, Picardie) : le blé occupe en 2000 dans certaines régions plus de 50 % de la surface agricole. La régression de l'élevage de ruminants dans cette zone centrale se traduit par la forte diminution des surfaces en prairies naturelles (non illustré). En 2000, elles n'occupaient des superficies significatives que dans les zones périphériques, telles que la Normandie à l'ouest ou la Thiérache au nord. La spécialisation vers l'élevage intensif dans ces régions est marquée par le développement spectaculaire des surfaces en maïs ensilage (figure 4.1). Cette spécialisation des exploitations et des régions pose de nombreux problèmes écologiques : faible recyclage des éléments minéraux (N, P, K,...) dans les exploitations agricoles, qui conduit à un gaspillage de ressources non renouvelables, et à des pollutions de l'eau (nitrate, phosphore) et de l'air (ammoniac, oxyde nitreux) ; perte de biodiversité liée au remplacement des prairies par des cultures annuelles ; réduction de la diversité des mosaïques d'habitats défavorable à la biodiversité...

Le cas de la luzerne, illustré par la figure 4.2 (Schott *et al.*, 2010), est emblématique de ce processus de spécialisation régionale. Dans les années 1970, la luzerne était présente sur tout le bassin de la Seine, en général consommée par le bétail dans les fermes où elle était cultivée. Son déclin a suivi celui des systèmes de polyculture élevage, et entre 1980 et 2000, la luzerne s'est concentrée en Champagne crayeuse, dans une zone favorable à une production élevée (sols profonds à très forte réserve en eau), pour alimenter la filière « déshydratation » : la luzerne est déshydratée grâce à l'énergie fossile, pour pouvoir être facilement conservée, transportée, et

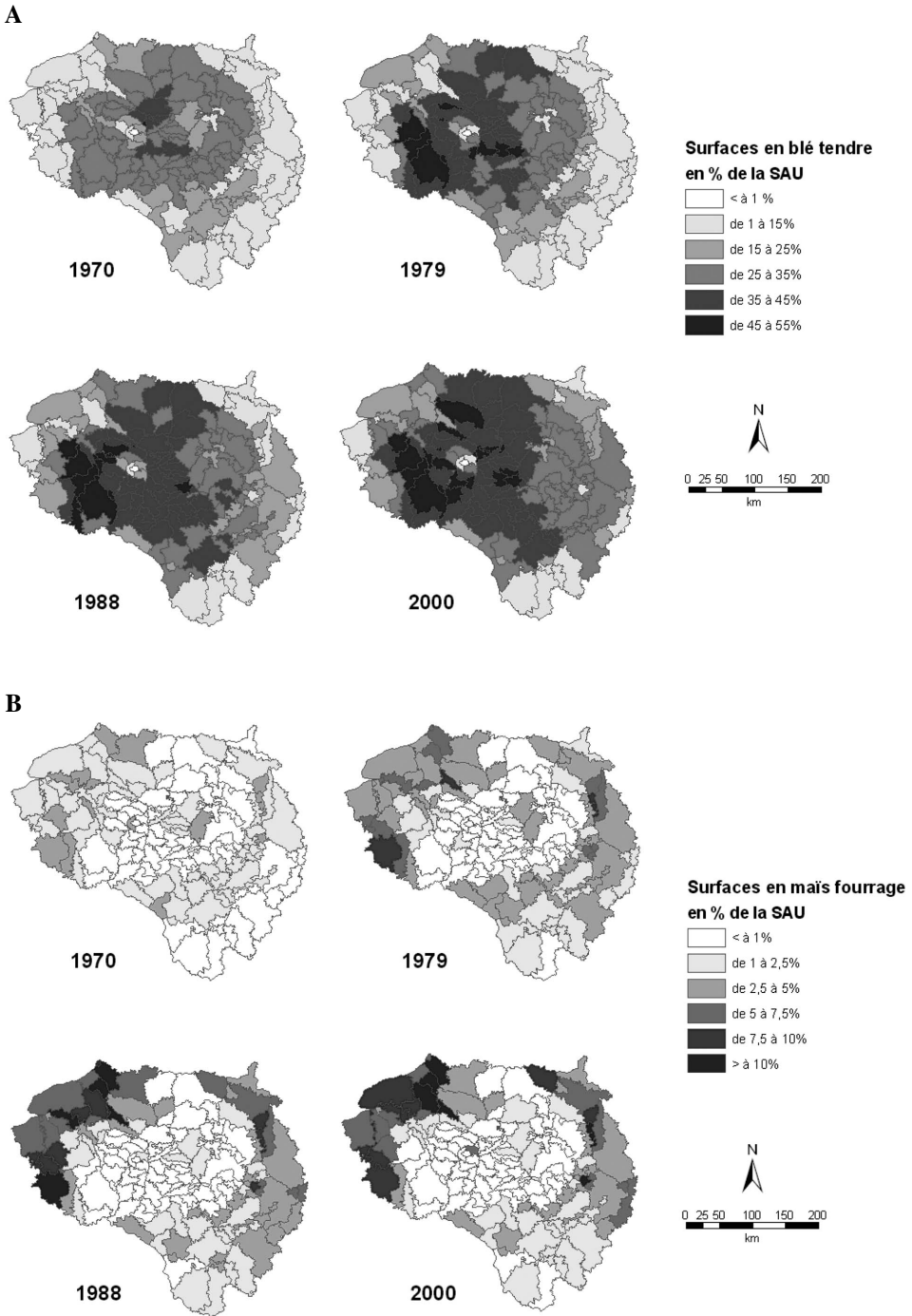


Figure 4.1. La spécialisation des territoires dans le bassin de la Seine : au centre la céréaliculture (A), à la périphérie l'élevage (B, marqué par les surfaces en maïs ensilage) ; d'après Schott *et al.*, 2010.

incorporée dans des aliments du bétail vendus aux éleveurs des régions spécialisées en élevage. Les années 2000 marquent un déclin de cette filière énergivore, lié à la hausse du prix de l'énergie, à la baisse du soutien européen et à la concurrence du tourteau de soja venu du continent américain.

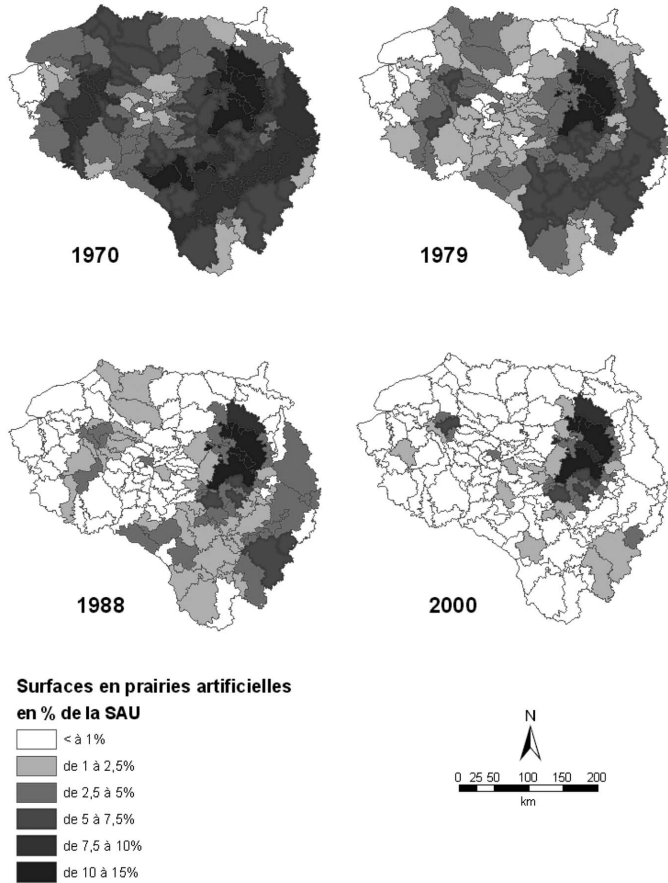


Figure 4.2. La diminution des surfaces en luzerne dans le bassin de la Seine, emblématique d'une agriculture peu économe (d'après Schott *et al.*, 2010).

Cette spécialisation des territoires est structurée par les implantations agro-industrielles qui assurent les débouchés aux produits : l'industrie laitière, qui collecte l'essentiel de la production de lait s'est concentrée dans les zones d'élevage ; inversement, les régions centrales se sont organisées pour collecter, et parfois transformer (sucreries, féculeries par exemple) les produits des grandes cultures. La spécialisation s'accompagne d'un accroissement de la technicité des modes de production, et les agriculteurs spécialisés, comme leurs conseillers, ne resserrent leurs compétences que dans leurs domaines de spécialisation. Se re-diversifier devient alors d'autant plus difficile pour un agriculteur qu'il lui faut trouver non seulement des débouchés qui n'existent plus localement, mais aussi acquérir sans appui local les savoirs et les références techniques sur les nouvelles productions.

La réduction du nombre d'espèces cultivées

Cette spécialisation régionale s'accompagne d'une réduction du nombre d'espèces cultivées, et d'un raccourcissement des rotations. Ainsi, dans les zones de grande culture du bassin de la Seine, les surfaces en blé et en colza ont beaucoup augmenté entre les années 1980 et 2000. À l'opposé, les surfaces en pois protéagineux, en tournesol ou en maïs ont diminué. Les monocultures de blé ou les rotations courtes, telles que colza/blé/blé ou colza/blé/orge, ont augmenté en fréquence (Schott *et al.*, 2010). Toute la filière est impliquée dans cette simplification des assolements : l'exemple de la régression du pois protéagineux (surfaces divisées par 7 en 15 ans en France entre 1994 et 2009) en est l'illustration. Le développement des surfaces en pois protéagineux dans les années 1980 est dû à un soutien résolu des pouvoirs publics (prix élevé garanti, soutien à la sélection variétale et à la mise au point de références techniques), lié à une volonté de réduire la dépendance de l'Union européenne en ressources protéiques pour l'alimentation animale. Le déclin des surfaces s'est amorcé suite à une réduction du soutien des pouvoirs publics, mais aussi en relation avec le développement d'une nouvelle maladie tellurique, *Aphanomyces euteiches*. Dans la période d'expansion maximale des surfaces en pois, au tournant des années 1980 et 1990, certains agriculteurs ont en effet cultivé un peu trop souvent du pois sur les mêmes parcelles, ce qui a favorisé l'expansion de la maladie. La régression des surfaces a décrédibilisé le pois vis-à-vis des fabricants d'aliments du bétail, qui ne disposaient plus d'un approvisionnement régulier et garanti : le tourteau de soja a retrouvé sa place de source essentielle de protéines dans la composition des aliments du bétail. Les prix du pois en ont pâti, ce qui a accéléré la baisse des surfaces. Les semenciers privés se sont alors interrogés sur l'avenir du pois et ont réduit leur investissement dans la sélection de nouvelles variétés. Le différentiel de productivité avec le blé ou le colza, sur lesquels l'effort de sélection ne se relâche pas, ne se réduira donc pas, ce qui serait nécessaire pour accroître l'intérêt économique au pois protéagineux. C'est bien l'imbrication des stratégies des différents acteurs de la filière qui a abouti au déclin du pois, et qui compliquera singulièrement un retour du pois dans les assolements aujourd'hui souhaité par les pouvoirs publics.

Le rôle clef des pesticides

Le raccourcissement des rotations augmente les problèmes de parasitisme tellurique et rend difficile la maîtrise des populations d'adventices. L'homogénéisation des assolements accroît les risques de développement des populations de parasites à dissémination aérienne (insectes, maladies cryptogamiques foliaires). Le processus de spécialisation que nous venons de décrire ne serait donc pas possible sans les pesticides. À titre d'illustration, on peut observer que dans le bassin de la Seine, les régions où il y a le plus de colza sont aussi celles dans lesquelles chaque hectare de colza reçoit le plus de traitements pesticides (Schott *et al.*, 2010). De fait, les pesticides sont devenus la clé de voûte des systèmes de culture intensifs actuels, et configurent non seulement les rotations, mais aussi les dates de semis ou les choix variétaux. L'exemple de la culture du blé (Meynard et Girardin, 1991 ; Lamine *et al.*, 2010) est à cet égard significatif. Pour maximiser la productivité, le blé est semé précocement et à densité forte, il est alimenté régulièrement en engrais azoté, les

variétés sont choisies en fonction de leur productivité (et non de leur résistance aux maladies). Tous ces choix sont favorables à des niveaux élevés de production, mais ils accroissent aussi les risques d'insectes parasites, de maladies cryptogamiques et d'adventices. Face à ces risques, une couverture serrée de la culture par des traitements phytosanitaires devient impérative. Pour faciliter des interventions rapides, les agriculteurs ont privilégié l'achat de matériels puissants et de grande largeur, et cherché à regrouper et agrandir leurs parcelles. C'est ainsi que dominant dans les paysages de grandes cultures, des systèmes intensifs, pratiqués sur de grandes parcelles génétiquement homogènes, et fortement utilisateurs de pesticides.

Ce rôle clé joué par les pesticides dans les régions de grande culture est renforcé par le système de conseil et les priorités de la sélection. Du fait du rôle clef des pesticides dans la logique des systèmes de culture, les entreprises qui commercialisent ces intrants sont devenues la principale source de conseil aux agriculteurs. Pour lutter contre les bio-agresseurs, ce conseil privilégie le plus souvent les solutions chimiques, simples et d'efficacité spectaculaire (un problème, une solution) plutôt que les méthodes agronomiques préventives, plus complexes à mettre en œuvre et d'efficacité moins directe (Butault *et al.*, 2010). Les résistances variétales sont le plus souvent considérées comme des compléments aux pesticides, et non comme des moyens de lutte privilégiés. De ce fait, le marché des variétés multi-résistantes, qui autorisent des réductions de fongicides significatives, reste limité, ce qui n'incite pas les sélectionneurs à privilégier ce créneau. Étant donné le rôle secondaire des résistances variétales, il n'y a pas de coordination des choix variétaux en vue d'une gestion de la durabilité des résistances. Le contournement de résistances variétales est de ce fait régulièrement observé, et tend à décrédibiliser cette solution.

Un système verrouillé

Les systèmes de production de la région étudiée apparaissent ainsi comme totalement cohérents avec l'organisation de filières amont et aval, ainsi qu'avec les systèmes de conseil technique. La stratégie de chaque acteur renforce la stratégie des autres. Personne n'a vraiment intérêt à changer de stratégie, tant que les autres n'en changent pas. On est dans un cas typique de « verrouillage technologique¹ » autour de ces systèmes agricoles spécialisés et intensifs en intrants. Des effets de verrouillage autour de l'utilisation des pesticides ont déjà été décrits dans d'autres pays – Cowan & Gunby (1996) aux USA, Vanloqueren et Baret (2008) en Belgique – et en France par Lamine *et al.* (2010). La forte cohérence du système sociotechnique qui produit ce verrouillage est le résultat de la remarquable réponse du monde agricole à l'injonction d'accroissement de la production de céréales, et à l'augmentation de la compétitivité internationale de l'agriculture. Cette cohérence se heurte clairement à une prise en compte des nouvelles injonctions relatives à l'environnement. Comme le soulignent les travaux des économistes sur la suppression des quotas laitiers (Daniel *et al.*, 2008) ou sur la diversification des cultures (Farès *et al.*,

1. Le concept de verrouillage technologique traduit une situation dans laquelle une technologie A peut être adoptée de façon durable voire irréversible au détriment d'une technologie B, et ce même si la technologie B apparaît, ex-post, comme étant la plus efficace (Labarthe, 2010).

2012), les mécanismes économiques au niveau des filières tendent à renforcer ce verrouillage. Selon le processus de dépendance du chemin (*path dependancy*) décrit par les économistes de l'innovation (David, 1985 ; Dosi, 1988), certaines innovations, cohérentes avec ce verrouillage (rotations encore plus courtes, outil d'aide à la décision permettant de raisonner les apports d'intrants) ont beaucoup plus de chance d'être adoptées que les autres (Labarthe, 2010). L'évolution possible pour les systèmes est donc strictement limitée : ouvrir le champ des possibles en termes d'innovation suppose de « déverrouiller ».

► Quelles marges de manœuvre pour faire évoluer les systèmes intensifs en intrants ?

Des systèmes sociotechniques analogues à celui décrit dans le Bassin parisien en France prédominent largement dans les pays développés. Mais ils s'affirment aussi dans des régions agricoles des pays du Sud. Pour saisir à quel point il s'agit d'une évolution globale des systèmes agricoles, qui s'ancre dans des dynamiques décennales et repose sur des acteurs internationaux et les règles du commerce mondial, nous prendrons trois autres exemples emblématiques de cette évolution, dans des contextes écologiques et socio-économiques contrastés : la sojisation en Pampa argentine, la production de coton en Thaïlande et la production bananière aux Antilles.

La sojisation de la Pampa argentine (d'après Grosso, 2011)

Depuis le milieu des années 1990, on assiste dans la Pampa argentine à un fort développement des grandes cultures, et particulièrement du soja, aux dépens des prairies et de l'élevage : la surface en soja dans le pays a ainsi été multipliée par 4 (de 500 000 ha à 2 millions d'ha) entre le début des années 1990 et la fin des années 2000. Les variétés de soja cultivées sont, en quasi-totalité, tolérantes aux herbicides (glyphosate en premier lieu). Ce développement du soja est directement lié au fait que sa marge brute est supérieure à celle des autres cultures. Aujourd'hui, environ 60 % des surfaces cultivées sont ensemencées en soja, et de plus en plus de rotations comprennent un retour du soja sur lui-même. Le développement du soja s'est accompagné d'une suppression presque généralisée du labour, ce qui permet une réduction du temps de travail et des coûts de mécanisation. Il existe clairement une synergie entre les deux innovations, semis direct et variétés tolérantes aux herbicides : la suppression du labour suppose une excellente efficacité des herbicides, ce qui est plus facile à obtenir avec des herbicides totaux associés à des variétés tolérantes (soja, mais aussi maïs) qu'avec les stratégies de désherbage classiques. Depuis le début des années 2000, la croissance des marges des grandes cultures (et en particulier celles du soja) est très supérieure à celle du coût de la vie, ce qui conforte la filière soja, accélère la déstructuration des filières animales, attire les investisseurs et favorise la concentration des terres. On assiste ainsi au développement d'une agriculture financière, basée sur la recherche du profit à court terme sur des surfaces cultivées de plusieurs centaines de milliers d'hectares, où toute

référence à la gestion des rotations et de la fertilité des terres à long terme a disparu (*pool de siembra*). Avec l'accroissement des surfaces en soja et le raccourcissement des rotations, on assiste au développement de viroses et maladies fongiques, et à l'apparition de résistances au glyphosate, entraînant une augmentation de l'usage de pesticides. La sojisation, dont les filières sont essentiellement tournées vers l'exportation, améliore les performances économiques de l'agriculture argentine, mais est critiquée pour les nuisances environnementales (Botta *et al.*, 2011) et sociales (en particulier la déstructuration des dynamiques territoriales locales, Albaladéjo, 2012) qui lui sont associées.

La production de coton en Thaïlande (d'après Castella *et al.*, 1999)

En Thaïlande, les surfaces cultivées en coton suivent depuis les années 60 une évolution cyclique : augmentation progressive des surfaces et de la production liée à une intensification par les intrants, suivie d'une forte chute des rendements, entraînant celle des surfaces, avant que ne reprenne un nouveau cycle, 10 ou 15 ans après le précédent. L'intensification porte notamment sur l'adoption de variétés « améliorées », très productives, mais moins tolérantes aux attaques d'insectes que les variétés traditionnelles, et sur l'utilisation des insecticides les plus modernes. Au fil du temps, avec la multiplication des surfaces et des traitements, une forte pression de sélection s'exerce sur les insectes parasites du coton, dont certains deviennent résistants aux insecticides. Après une phase d'augmentation des doses et du nombre de traitements, stratégie qui ne fait qu'accroître la sélection des sous-populations résistantes, les insecticides perdent toute efficacité, les populations d'insectes deviennent incontrôlables, et les rendements s'effondrent. La culture du coton est alors remplacée par d'autres productions, jusqu'à ce qu'une autre famille d'insecticides apparaisse, et soit diffusée. Castella *et al.* (op.cit) montrent que tous les acteurs qui œuvrent autour de l'agriculture concourent au succès du paquet technique « coton intensif » pendant la « phase d'exploitation » : les services de développement agricole, les pouvoirs publics (qui souhaitent accroître la production de coton), les firmes agro-chimiques. Les commerçants locaux, qui sont les seuls interlocuteurs de nombreux agriculteurs (ils leur vendent semences et pesticides, et achètent leur production) sont en position d'imposer le paquet technique aux paysans endettés. Le développement de la protection intégrée (IPM), seul moyen de sortir du cycle infernal, aurait supposé, selon Castella *et al.* (op.cit.), la mobilisation coordonnée de nombreux acteurs : pouvoirs publics, sélectionneurs, paysans, commerçants, chercheurs, agents de développement... Celle-ci tarde à se mettre en place, et depuis le début des années 2000, les surfaces en coton décroissent de manière continue, et sont aujourd'hui à un niveau très bas (moins de 10 000 ha, contre 152 000 au plus haut pic, en 1981).

La production bananière dans les Antilles (d'après Clermont-Dauphin *et al.*, 2003)

Sur les sols volcaniques des hautes terres de Guadeloupe (Antilles françaises), la monoculture intensive de bananiers est pratiquée depuis les années 1980. Tous les 3

à 5 ans, les bananiers sont replantés, sous forme de vitro-plants indemnes de nématodes. Les matières organiques issues de la bananeraie précédente sont enfouies par un labour. Des doses massives d'engrais sont épanchées. De nombreux traitements herbicides, fongicides, insecticides, nématicides sont réalisés. L'étude de l'activité biologique des sols sur un échantillon de parcelles (dont certaines peu intensifiées, volontairement sur-représentées) montre que le labour favorise le développement des populations de nématodes, et au contraire réduit les populations de vers de terre (qui auraient un effet dépresseur sur les populations de nématodes, d'après Lavelle *et al.*, 2004). Les nématicides employés pour circonvier ces populations de bio-agresseurs apparaissent plus défavorables aux vers de terre et aux espèces de nématodes peu nuisibles qu'aux nématodes les plus nuisibles. Du fait de ce cercle vicieux, quelques années après la plantation, les populations de nématodes sont trop importantes et un nouveau labour est réalisé pour une nouvelle plantation. On retrouve des systèmes de production analogues dans les principales zones de culture de bananes d'exportation. Comme dans les autres exemples, l'organisation de l'amont et de l'aval des filières est très cohérente avec cette production normalisée, favorable à la satisfaction de marchés de masse. Cependant, aux Antilles, ce système de production est aujourd'hui totalement déstabilisé par l'ouverture du marché européen à des bananes produites dans des pays à bas coût de main d'œuvre, et par le constat des dégâts environnementaux liés à l'utilisation historique des pesticides (Blazy, 2011). La filière antillaise est donc en quête d'une évolution de ses pratiques, permettant une reconnaissance de sa spécificité sur les marchés. Dans le cadre du Plan Banane Durable, l'Institut technique tropical, le Cirad et les producteurs se sont engagés dans une démarche d'innovation pour la réduction de l'utilisation des intrants (Dorel *et al.*, 2011 ; Blazy, 2011).

Les marges de manœuvre pour agir sur des systèmes agricoles verrouillés

Tous ces systèmes fortement utilisateurs d'intrants ont eu des processus d'évolution comparables : finalisés par la maximisation du résultat économique à court terme, ils se caractérisent tous par une spécialisation régionale, le raccourcissement des rotations (allant jusqu'à la monoculture), et un rôle clé assigné aux pesticides. Ils ont également des impacts écologiques et sociaux assez analogues. La biodiversité et les services écosystémiques qui lui sont liés sont partout en recul, tant du fait de l'homogénéisation des mosaïques paysagères que de l'emploi immodéré de pesticides. La spécialisation des territoires ne favorise pas le recyclage des éléments fertilisants, et ces systèmes contribuent au gaspillage de ressources. Au plan social, les impacts de l'usage des pesticides sur la santé des agriculteurs sont mis à l'agenda en France métropolitaine, mais aussi aux Antilles et en Asie ; et la réduction de l'emploi agricole lié à l'intensification par les intrants et la mécanisation vide les campagnes en Argentine, après les avoir vidées en France. Enfin, les systèmes agricoles du Bassin parisien et de la Pampa sont fortement interconnectés, ce qui fait que l'élevage intensif français a une part de responsabilité dans l'évolution des systèmes pampéens et de leurs impacts, de même que le soja de la Pampa contribue aux pollutions des systèmes aquatiques de l'Ouest de la France.

Ces systèmes intensifs en intrants ont une grande cohérence agronomique ; que l'on veuille les rendre plus propres, moins monotones ou plus sobres, il ne suffira pas d'ajuster une ou deux pratiques, c'est toute leur logique qu'il faudra changer. Leur verrouillage est autant lié à leur forte cohérence interne qu'à la conjonction des stratégies des acteurs de l'amont, de l'aval et du conseil technique avec les politiques publiques. Dans certains cas, l'emballement du système (coton en Thaïlande ou banane aux Antilles) a conduit à une crise majeure, obligeant à des changements radicaux de mode de production. Ailleurs, les systèmes actuels sont solidement ancrés, et on ne les fera évoluer ni par des « Yaka », ni par un simple effort d'information. Pour conduire une telle évolution, il est indispensable de penser et d'agir de manière systémique, évitant de se laisser abuser par des solutions dont l'apparente simplicité masquerait des effets indirects difficiles à maîtriser. Souvenons-nous des pesticides, qui entre les années 1960 et 1990, ont fait partout figure de solution miracle : la recherche, abusée par l'efficacité de la lutte chimique contre les bio-agresseurs, n'a pas suffisamment investi dans les alternatives, dont aucune n'est aussi « performante » à elle seule, mais qui, combinées dans des stratégies de protection intégrée, offrent des solutions très prometteuses (Vanloqueren et Baret, 2009). Il s'agit de travailler, tant au niveau de l'agroécosystème qu'au niveau du système économique et social, sur différents leviers complémentaires : conception et proposition de systèmes de culture innovants basés sur la compréhension des processus agroécologiques ; réorganisation des programmes de formation et des canaux de diffusion d'information ; politiques publiques incitatives, ciblées non seulement sur les agriculteurs, mais aussi sur les autres acteurs de l'agriculture et des territoires (de Schutter, 2010)...

Pour autant, si l'on peut s'accorder sur la nécessité d'une forte évolution des systèmes agricoles pour les inscrire dans le développement durable, il serait présomptueux de tenter de définir ce qu'ils devraient être. Nous ne proposerons donc pas ici un répertoire de systèmes techniques réputés « durables » ou « agroécologiques », qui pourrait laisser penser qu'il existe des « bonnes » solutions, à vocation universelle, que tout un chacun n'aurait plus qu'à mettre en œuvre. Nous nous attacherons plutôt à rappeler les principes d'une démarche d'ingénierie agro-écologique, visant à aider les acteurs à élaborer, individuellement ou collectivement, leurs propres solutions. Face à la diversité des situations, mais aussi aux incertitudes de l'avenir, nous proposons de travailler sur des outils et démarches pour aider les acteurs de terrain à faire évoluer leurs systèmes techniques, à les adapter aux caractéristiques précises de leur situation. Nous garderons comme fil directeur l'exemple des systèmes de grande culture intensive du nord de la France.

► Outils et démarches pour la reconception des systèmes agricoles : quelques pistes de travail

Comme le souligne de Schutter (2010), l'agroécologie offre un cadre interdisciplinaire pour développer, en partenariat étroit avec les acteurs concernés, une recherche sur la transformation des systèmes agricoles. Ce cadre qui a été explicité dans plusieurs articles de synthèse (Wezel *et al.*, 2009 ; Francis *et al.*, 2003) mobilise

conjointement les sciences agronomiques, l'écologie et les sciences sociales, avec les savoirs empiriques locaux, pour concevoir des systèmes alimentaires durables. L'agroécologie est définie comme l'étude intégrative de l'écologie de la totalité du système alimentaire (Francis *et al.*, 2003). Cette définition, soulignent ces auteurs, « encourage les chercheurs [...] à embrasser la complétude et la connectivité des systèmes, invite au regard sur l'unicité de chaque lieu et sur les solutions appropriées à ses ressources et à ses contraintes. Elle étend notre pensée au-delà des pratiques de production et des impacts environnementaux immédiats à l'échelle du champ et de la ferme ».

La reconception de systèmes agricoles, dans la voie de l'agroécologie, ne peut ignorer l'existence de tensions, parfois fortes, entre objectifs contradictoires : tension classique entre exigences économiques et environnementales ; tensions entre acteurs du territoire, ayant des objectifs divergents ; tensions entre les logiques individuelles d'acteurs et leurs conséquences au niveau des paysages (par exemple, la concentration du choix de tous les agriculteurs sur les cultures ou les variétés les plus rentables crée des espaces génétiquement homogènes, favorables à la propagation des épidémies). Il s'agira donc de proposer des manières de construire, à différentes échelles, des compromis entre ces objectifs divergents (Meynard *et al.*, 2012). Un autre enjeu, tout aussi important est de faciliter l'adaptation des systèmes agricoles au changement climatique, qui pourrait se traduire par un accroissement des risques climatiques (températures élevées, sécheresse...) et parasitaires (déplacement vers les zones tempérées de parasites des régions chaudes). Le changement climatique remet en question les références des acteurs de l'agriculture, du développement agricole et des territoires, en interrogeant la pertinence des savoirs acquis dans les années antérieures. Il sera donc utile, dans ce contexte, d'aider les acteurs à reconstruire leur capacité à se projeter dans l'avenir, en combinant des connaissances situées acquises dans leurs territoires d'activité et des connaissances issues de modèles climatiques et agroécologiques proposés par les scientifiques.

La reconception des systèmes agricoles interpelle des acteurs variés, en fonction desquels sera organisé le plan de cette dernière partie :

- outils et démarches proposés aux agriculteurs et à leurs conseillers directs ;
- outils et démarches pour aider les acteurs des territoires (par exemple : agriculteurs, pouvoirs publics locaux, associations environnementalistes, résidents...) à explorer des scénarios de gestion concertée ;
- réflexions sur l'action publique visant à accompagner la transformation des systèmes agricoles et favoriser la concertation entre les acteurs des territoires.

Outils et démarches adressés aux agriculteurs et à leurs conseillers techniques

Les propositions de nouveaux systèmes techniques plus durables, issues de la recherche et du développement, et à destination des agriculteurs, sont nombreuses et variées : outils d'ajustement de la fertilisation, de l'irrigation ou des traitements phytosanitaires, systèmes sans travail du sol, variétés résistantes, lutte biologique et méthodes prophylactiques combinées dans des systèmes de protection intégrée contre les ennemis des cultures, associations de variétés et d'espèces permettant de

limiter les intrants et d'améliorer leur efficacité ; systèmes fourragers autonomes basés sur des prairies plurispécifiques riches en légumineuses.

Mais adapter les systèmes agricoles à la diversité des sols, des agro-écosystèmes et des exploitations agricoles suppose de proposer aux agriculteurs et aux techniciens des démarches pour construire leurs propres solutions. Meynard (2008, 2012) relève que les démarches de conception de systèmes agricoles innovants s'organisent en deux grandes familles : la conception *de novo* et la conception « pas à pas ». La conception *de novo* vise la construction de systèmes en rupture ; elle peut s'appuyer sur des ateliers de conception ou sur l'exploration *in silico* de systèmes techniques innovants à l'aide d'un modèle informatique (Rossing *et al.*, 1997 ; Bergez *et al.*, 2010). Dans la conception pas à pas, on ne cherche pas à créer une rupture, mais à organiser une transition progressive vers des systèmes innovants, en s'appuyant sur des boucles d'apprentissage. Ces deux familles de démarches sont complémentaires :

- la conception *de novo* ouvre le champ des possibles, en débridant l'inventivité, et permet ainsi d'explorer des solutions très innovantes, éventuellement incompatibles aujourd'hui avec le système sociotechnique, mais dont l'exploration contribue à préparer l'avenir ;

- dans la conception pas à pas, l'exploration est plus prudente, mais présente l'avantage de s'adapter plus aisément aux contraintes spécifiques de chaque situation agricole ; l'agriculteur, souvent accompagné par un technicien ou par un collectif de pairs, met au point son nouveau système, en même temps qu'il se convainc de son intérêt.

L'exemple d'une exploitation picarde dans laquelle les dynamiques d'apprentissage de la conception pas à pas ont été mobilisées pour réduire les intrants et les nuisances environnementales est développé dans l'encadré 4.1 (d'après Mischler *et al.*, 2009). L'enjeu de la reconception, dans ce cas précis, a été d'inclure des critères environnementaux dans l'apprentissage des agriculteurs. En effet, chaque année, les agriculteurs tirent parti de leurs observations pour parfaire leur expérience. Ils observent les réactions des sols et des cultures, scrutent le comportement de la nouvelle variété qu'ils ont essayé et testent, dans un coin de champ, l'innovation conseillée par un technicien. Cependant, les critères sur lesquels ils s'appuient pour réaliser cette évaluation sont, le plus souvent, essentiellement liés à la production (rendement, qualité) et aux performances économiques de leur exploitation. Pour se lancer dans la reconception de leurs systèmes, les agriculteurs ont donc besoin que la recherche leur propose :

- une batterie d'indicateurs de diagnostic, aisément mesurables, et appropriables ; la mise au point d'indicateurs agro-écologiques est actuellement très active (Bockstaller *et al.*, 2008, Sadok *et al.*, 2008) ;

- une bibliothèque d'innovations (variétés, produits phytosanitaires, mais aussi outils d'aide à la décision, méthodes de protection intégrée, méthodes de gestion des matières organiques, cultures de diversification, exemples de systèmes de culture innovants conçus par des démarches de type *de novo*...). Il est important que chaque innovation ait été caractérisée de manière précise, pour aider l'agriculteur dans ses choix : temps de travail, matériel et compétences nécessaires, impacts attendus sur l'environnement et sur la production, effets systémiques sur d'autres pratiques...

Encadré 4.1. Conception « pas à pas » d'un système de production agroécologique en Picardie (Mischler *et al.*, 2009)

L'exploitation de M.X, agriculteur en Picardie, est spécialisée en grande culture (céréales, oléo-protéagineux, betterave à sucre). Elle est suivie dans le cadre du programme « Production intégrée » conduit par Agrotansfert Ressources et territoires, les Chambres d'agriculture de Picardie et l'Inra.

En 2002, un diagnostic agronomique et environnemental est réalisé par l'agriculteur et un conseiller. Un point faible majeur est mis en évidence : une utilisation importante de pesticides (indice de fréquence de pesticides IFT de plus de 8 – ce qui veut dire que l'agriculteur a effectué 8 traitements à dose homologuée, en moyenne sur les parcelles de son exploitation), sur des rotations peu diversifiées. Le technicien et l'agriculteur examinent alors ensemble les solutions envisageables : Quelles nouvelles cultures sont possibles ? Pour quels débouchés ? Sont-elles compatibles avec le matériel de l'agriculteur ? Avec son organisation du travail ? Sur chacune des cultures, quel mode de conduite adopter pour limiter l'usage de pesticides ? Est-il possible de passer au désherbage mécanique ? Quelles nouvelles variétés ? Peut-on envisager des associations d'espèces ou de variétés ? Dans la « bibliothèque d'innovations » proposées par le conseiller (sur la base de son expérience et des acquis de la recherche), l'agriculteur fait son choix, en tenant compte de ses contraintes spécifiques ; il essaie les innovations dans une ou deux parcelles ; puis il les étend à l'ensemble de sa ferme. Chaque année, il fait le point avec son conseiller et avec un groupe d'agriculteurs engagés dans la même démarche : Quelles innovations ont donné satisfaction ? Quels échecs ? Comment faire évoluer le plan d'action initial ?

Six ans après, il a diversifié ses rotations, changé ses variétés et ses modes de culture, amélioré son bilan énergétique (utilisation de moins d'engrais azoté et réduction du travail du sol) et réduit l'IFT moyen de son exploitation à 3 (variétés résistantes, rotations longues, désherbage mécanique). Le suivi effectué par le technicien montre que le temps de travail est un peu augmenté, mais que le revenu n'est pas affecté.

Les agriculteurs ne peuvent, le plus souvent, conduire seuls de tels changements, qui remettent en cause pratiques, savoirs, représentations sociales et organisation du travail. Les travaux des sociologues (Darré *et al.*, 1994 ; Warner, 2007 ; Lamine *et al.*, 2009) montrent le rôle des groupes d'échange entre agriculteurs dans l'apprentissage des systèmes innovants, à la fois source d'idées et de démultiplication des expériences, et soutien moral face à la prise de risque.

Outils et démarches pour la concertation au niveau des paysages

Une action au niveau des exploitations agricoles individuelles est évidemment insuffisante pour gérer les processus qui expriment leur effet au niveau des paysages (érosion, impacts sur la biodiversité, pollutions d'aquifères). Elle doit s'accompagner d'une concertation entre fermes voisines et, plus généralement, entre les différents acteurs du territoire, pour imaginer des mosaïques paysagères et des agencements spatiaux de systèmes agricoles (Papy et Torre, 2002 ; Souldard, 2005 ; Thenail *et al.*, 2009).

Comment favoriser une telle concertation ? Il s'agit d'une question complexe, car les intérêts des différents acteurs peuvent être contradictoires, leurs représentations de la situation inconciliables, ou leur information asymétrique ; certains peuvent ne retirer aucun bénéfice d'une coordination des actes gestionnaires, ou ne pas percevoir les bénéfices qu'ils pourraient en retirer ; les réseaux d'acteurs préexistants peuvent favoriser (mais aussi parfois entraver) les coordinations innovantes. Pour de telles questions, la recherche participative est particulièrement adaptée, car elle est favorable aux processus d'apprentissage collectifs, qui accompagnent la construction de normes collectives et la coordination des pratiques. Parmi les démarches participatives, l'*Integrated assessment* (Bland, 1999 ; Pahl-Wostl, 2005) et la modélisation d'accompagnement (*companion modeling*, collectif ComMod, 2006) reposent sur l'utilisation de modèles de simulation comme médiateurs entre les porteurs d'enjeu. Autour des résultats du modèle, s'organisent des comparaisons de scénarios, des débats, des concertations, qui amènent à faire évoluer les scénarios et à favoriser des convergences entre les parties prenantes (*stakeholders*). À titre d'exemple, la modélisation d'accompagnement est basée sur une approche séquentielle (Etienne *et al.*, 2011) :

- construction d'une représentation partagée des processus territoriaux qu'il s'agit de piloter collectivement. Les chercheurs développent avec les parties prenantes un modèle informatique qui, en s'appuyant sur les connaissances des acteurs locaux, combinées avec celles des scientifiques, rend compte des interactions clef entre les systèmes écologiques, agricoles et sociaux ;
- organisation d'un jeu de rôle, qui, en mettant les acteurs en situation, leur permet d'appréhender, de l'intérieur, la complexité des interactions ;
- comparaison de scénarios construits sur la base du jeu de rôle ; les scénarios diffèrent par la stratégie adoptée par certains acteurs, ou par les réglementations, par exemple. Le modèle permet de peser les avantages et inconvénients des différents scénarios, de les améliorer, et de se rapprocher ainsi de solutions plus satisfaisantes.

Le développement des recherches sur la modélisation des processus spatiaux constitue un atout précieux pour le test, avec les acteurs du territoire, de scénarios d'occupation des sols et d'évolution des systèmes agricoles. Agronomes et écologues doivent se mobiliser ensemble pour modéliser à cette fin les interactions entre systèmes techniques et agro-écosystèmes. Les difficultés méthodologiques d'une telle construction interdisciplinaire sont nombreuses : complexité de la traduction des actes techniques en variables écologiques ; points de vue différents également sur la temporalité des processus ; points de vue non concordants sur les découpages pertinents de l'espace (le paysage n'est réductible ni aux seules parcelles chères à l'agronome, ni aux seules « structures paysagères » considérées par les écologues du paysage).

Quelques réflexions sur l'action publique

L'action des pouvoirs publics sur l'évolution des systèmes agricoles et des paysages est potentiellement considérable. Pour revenir sur l'exemple du bassin de la Seine du début de cet article, dans le passé, le soutien des prix du blé a contribué à la

disparition de l'élevage dans les zones favorables à la céréaliculture ; les primes au drainage ont encouragé la régression des prairies naturelles humides, et de leurs services écosystémiques (biodiversité, épuration des eaux...) ; la prime à l'irrigation, créée par la politique agricole des années 1990 a encouragé la multiplication des irrigants et la monoculture de maïs, avec des conséquences parfois graves sur l'état écologique des milieux aquatiques (Meynard *et al.*, 2003). La spécialisation des cultures, le raccourcissement des rotations et le développement de systèmes de culture intensifs fortement consommateurs de pesticides ont ainsi été favorisés par les règles du jeu édictées par les pouvoirs publics.

Les instruments économiques mobilisables pour agir sur la gestion des agro-écosystèmes sont bien connus : aides publiques (mesures agri-environnementales, conditionnalité, soutien à la diffusion d'innovations) ; taxes (sur les pesticides, sur l'énergie...), obligations ou interdictions, quotas. Ces outils pourraient être mieux utilisés pour rémunérer, directement ou indirectement les services écosystémiques rendus par l'agriculture. Cependant, une vision insuffisamment systémique conduit parfois à des effets pervers : par exemple, l'obligation de couverture des sols en hiver, par le semis d'une « culture intermédiaire » (pour réduire les risques de pollution nitrique des eaux) empêche de pratiquer déchaumages et faux semis, techniques qui permettent de réduire les herbicides, et favorisent, dans certains milieux, la multiplication des limaces. De même, en Europe, la disparition annoncée pour 2015 des quotas laitiers va conduire inéluctablement à une concentration de la production chez les exploitants les plus compétitifs, et de la collecte dans les régions où la densité de producteurs est forte. La spécialisation des exploitations et des territoires ne pourra qu'en être accrue.

La promotion de la diversification des cultures *via* des réglementations ou un soutien financier des pouvoirs publics n'aura cependant un effet sur le long terme que si elle est pérennisée par les mécanismes du marché. La diversification des mosaïques paysagères, favorable à la biodiversité comme à la réduction des pesticides, passe par un soutien des pouvoirs publics à la construction de nouvelles filières : ils doivent aider des filières de diversification à émerger, à se consolider, à se crédibiliser. Ceci supposerait, entre autres, de conduire des actions coordonnées (i) au niveau de la sélection des espèces « orphelines » (rôle de la recherche publique ; soutiens ciblés à la sélection privée) ; (ii) au niveau de la R&D agronomique (soutien ciblé à l'élaboration de références sur les cultures de diversification..) ; (iii) au niveau de l'aval des filières pour favoriser les innovations technologiques et les coordinations entre acteurs.

On a vu d'autre part, le rôle majeur des dynamiques d'apprentissages individuels et collectifs dans les transformations de l'agriculture. Comment les pouvoirs publics peuvent-ils contribuer à favoriser les dynamiques d'apprentissage ? Tout simplement en donnant la plus grande place, au niveau des incitations et des réglementations, aux démarches de type « management environnemental », de préférence aux démarches de normalisation des pratiques du type « code de bonnes pratiques ». Pour un agronome, les codes de bonnes pratiques agricoles, outil le plus souvent employé pour inciter les agriculteurs à adopter des pratiques vertueuses, constituent un contresens. Et ceci, pour plusieurs raisons : (i) ils visent à standardiser les pratiques, contraignant parfois fortement les capacités des agriculteurs à s'adapter à la

diversité des sols, des climats et des situations agricoles ; (ii) ils sont codifiés au niveau de la technique agricole élémentaire, alors que les impacts environnementaux dépendent souvent d'interactions entre plusieurs techniques ; (iii) ils sont vécus comme des contraintes, dévalorisant ainsi aux yeux des agriculteurs la protection de l'environnement. L'obligation de résultats semble avoir des vertus pédagogiques que n'a pas l'obligation de moyens, car elle incite les agriculteurs à porter des diagnostics sur leur situation (comparaison entre le « résultat » obtenu, apprécié par un indicateur proposé par les pouvoirs publics, et le « résultat » réel) et les encourage à mettre en œuvre des boucles d'amélioration vertueuses (Meynard, 2010).

La mise en œuvre des politiques environnementales s'appuie de plus en plus souvent sur des démarches de concertation entre acteurs hétérogènes, qui visent, en situation d'incomplétude des connaissances, à adapter le cadre proposé aux spécificités des territoires. Mais ces dispositifs sont coûteux et ne s'adressent qu'à des surfaces limitées. En complément de ces dispositifs, nous suggérons que l'action publique s'appuie sur le rôle de coordination des pratiques que pourraient jouer des entreprises ayant une vocation territoriale. Ainsi, en France, les coopératives agricoles, qui opèrent généralement sur des territoires clairement définis, de plusieurs milliers de km², occupent un nœud de décision essentiel : elles vendent des semences aux agriculteurs et pourraient promouvoir les variétés résistantes aux maladies et des mélanges de variétés ou d'espèces. Elles diffusent un conseil très écouté et, par leur fonction de collecte, pourraient inciter à la diversification des cultures. Les politiques agri-environnementales, qui sont aujourd'hui surtout ciblées sur les agriculteurs devraient sans doute aussi s'intéresser à ces entreprises comme aux collectivités locales qui pilotent l'aménagement de l'espace.

► Conclusion

Dans son rapport à l'ONU sur le droit à l'alimentation, de Schutter (2010) souligne l'impérieuse nécessité de « faire référence à l'agroécologie et à l'agriculture durable dans les stratégies nationales pour la réalisation du droit à l'alimentation ». Il recommande pour cela de « réorienter les dépenses publiques vers l'agriculture en accordant la priorité à la fourniture de biens publics tels que les services de vulgarisation, les infrastructures rurales et la recherche agricole, en tirant parti des atouts complémentaires des méthodes de sélection génétique des semences et des variétés et des méthodes agroécologiques ». L'analyse des agricultures intensives en intrants et des voies d'évolution pour celles-ci, que nous venons de conduire, aboutit à des conclusions convergentes. Cependant, en mettant l'accent sur la cohérence des systèmes sociotechniques et sur les processus de verrouillage technologique, nous montrons que l'évolution souhaitée ne pourra réussir que si l'ensemble des acteurs concernés, au premier rang desquels les pouvoirs publics, pensent et agissent de manière systémique. Les séduisantes simplifications du type « 1 problème, 1 solution » ou « un objectif de politique publique, 1 instrument » ont sans doute fait leur temps. Les pouvoirs publics ont dans ce cadre un rôle majeur à jouer pour mobiliser l'ensemble des acteurs. Différents instruments pourront être employés : instruments économiques classiques (fiscalité, quotas, interdictions, marchés de droits, subventions...), mais aussi soutien à la recherche et à l'innovation, aux apprentissages, à l'action

collective et à la coordination des acteurs économiques... L'angle d'attaque que nous avons adopté, l'analyse des processus agronomiques et de leurs liens avec le système économique et social, conduit à une analyse convergente avec celle développée par d'autres auteurs de ce livre sur le concept de système d'innovation : c'est bien sur toutes les composantes du système socio-écologique qu'il est nécessaire d'agir pour engager et accompagner le changement en agriculture. Infléchir des dynamiques économiques et sociales à forte inertie, comme celles que nous avons décrites dans plusieurs régions du monde, supposera de mettre en œuvre sans tarder des politiques volontaristes... Mais aussi d'envoyer des messages clairs aux acteurs, pour qu'ils engagent les mutations nécessaires, ce qui nécessitera une constance des politiques publiques et une transparence dans l'évolution des réglementations. En France, aujourd'hui, l'un des obstacles au développement d'une agriculture durable n'est-il pas dans le fait que les politiques publiques ne sont pas elles-mêmes suffisamment durables (Meynard, 2010) ?

► Références bibliographiques

- Albaladéjo C., 2012.** Les transformations de l'espace rural pampéen face à la mondialisation. *Annales de géographie* (sous presse).
- Bergez J.E., Colbach N., Crespo O., Garcia F., Jeuffroy M.H., Justes E., Loyce C., Munier-Jolain N., Sadok W., 2010.** Designing crop management systems by simulation. *Europ. J. Agronomy*, 32, 3-9.
- Bland W.L., 1999.** Toward integrated assessment in agriculture. *Agricultural Systems*, 60, 157-167.
- Blazy J.-M., 2011.** De l'innovation à l'adoption de nouvelles pratiques dans la filière banane. *Innovations Agronomiques*, 16, 25-37.
- Bockstaller C., Guichard L., Makowski D., Aveline A., Girardin P., Plantureux S., 2008.** Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 139-149.
- Botta G.F., Tolón-Becerra A., Lastra-Bravo X., Tourn M.C., 2011.** A Research of the Environmental and Social Effects of the Adoption of Biotechnological Practices for Soybean Cultivation in Argentina. *American Journal of Plant Sciences*, 2, 359-369.
- Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.-M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I., Volay T., 2010.** Ecophyto R&D, Quelles voix pour réduire l'usage des pesticides. Synthèse du rapport d'étude. Inra éditions, France, 90 pages.
- Castella J.C., Jourdain D., Trébuil G., Napompeth B., 1999.** A systems approach to understanding obstacles to effective implementation of IPM in Thailand: key issues for the cotton industry. *Agriculture, ecosystems and Environment*, 72, 17-34.
- Clermont-Dauphin C., Cabidoche Y.M., Meynard J.M., 2004.** Effects of intensive monocropping of bananas on properties of volcanic soils in the uplands of the French West Indies. *Soil Use and Management*, 20 (2), 105,113.
- Collectif ComMod (Companion Modelling, Cirad-Inra-IRD), 2006.** La modélisation comme outil d'accompagnement. *Natures, Sciences et Sociétés*, 13 (2), 165-168.
- Cowan R., Gunby P., 1996.** Sprayed to death: Path dependence, lock-in and pest control. *Economic Journal*, 106 (436), 521-543.
- Daniel K., Chatellier V., Chevassus-Lozza E., 2008.** Localisation des productions agricoles dans l'UE. L'enjeu de l'évolution des politiques agricole et commerciale. *Chambres d'Agriculture* n° 969, 24-27.
- Darré J.P., 1994.** *Pairs et experts dans l'agriculture. Dialogues et production de connaissances pour l'action*, Ed. Erès, Ramonville Saint-Agne, 227 pages.
- David P.A., 1985.** Clio and the economics of QWERTY. *American Economic Review*, 75 (2) 332-337.

- Dorel M., Tixier P., Dural D., Zanoletti S., 2011.** Alternatives aux intrants chimiques en culture bananière. *Innovations Agronomiques*, 16, 1-11.
- Dosi G., 1988.** Sources, procedures and microeconomics. Effects on innovation. *Journal of economic literature*, 26 (3) 1120-71.
- Etienne M., 2010.** *Companion Modelling. A participatory approach to sustainable development*, Éditions Quae, Versailles.
- Fares M., Magrini M.B., Triboulet P., 2012.** Transition agroécologique, innovation et effets de verrouillage : le rôle de la structure organisationnelle des filières. *Cahiers Agricultures*, 21 (1), 34-45.
- Francis C., Lieblein G., Gliessman S., Breland T.A., Creamer N., Harwood R., Salomonsson L., Helenius J., Rickerl D., Salvador R., Wiedenhoft M., Simmons S., Allen P., Altieri M., Flora C., Poincelot R., 2003.** Agroecology: The ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 22, 99-118.
- Grosso S., 2011.** Transformations du conseil agricole en région pampéenne argentine et recomposition de la profession « d'ingénieur agronome », thèse, Université Toulouse le Mirail.
- Labarthe P., 2010.** Services immatériels et verrouillage technologique. Le cas du conseil technique aux agriculteurs. *Economies et Sociétés*, 44, 173-196.
- Lamine C., Meynard J.-M., Perrot N., Bellon S., 2009.** Analyse des formes de transition vers des agricultures plus écologiques : les cas de l'Agriculture Biologique et de la Protection Intégrée. *Innovations Agronomiques*, 4, 483-493.
- Lamine C., Meynard J.M., Bui S., Messéan A., 2010.** Réductions d'intrants : des changements techniques, et après ? Effets de verrouillage et voies d'évolution à l'échelle du système agri-alimentaire. *Innovations Agronomiques*, 8, 121-134.
- Lavelle P., Blouin M., Boyer J., Cadet P., Laffray D., Pham-Thi A.T., Reversat G., Settle W., Zuilly Y., 2004.** Plant parasite control and soil fauna diversity. *C. R. Biologies*, 327, 629-638.
- Meynard J.M., Girardin P., 1991.** Produire autrement. *Courrier de la cellule Environnement de L'Inra*, 15,1-19.
- Meynard J.M., Dupraz P., Dron D., 2003.** Grande culture. Dossiers de l'Environnement de l'Inra. Expertise Collective ATEPE, Agriculture, Territoire, Environnement dans les Politiques Européennes, 69-91.
- Meynard J.M., 2008.** Produire autrement : réinventer les systèmes de cultures. In : *Systèmes de culture innovants et durables* (Reau R., Doré T., eds), Editions Educagri, 11-27.
- Meynard J.M., 2010.** Réinventer les systèmes agricoles : quelle agronomie pour un développement durable ? In : *Vers une société sobre et désirable* (Bourg D., Papaux A., eds), Presses Universitaires de France et Fondation Nicolas Hulot, 342-363.
- Meynard J.M., Dedieu B., Bos A.P., 2012.** Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices, In : *Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic* (Darnhofer I., Gibon D., Dedieu B., eds), Springer, 407-432.
- Mischler P., Lheureux S., Dumoulin F., Menu P., Sene O., Hopquin 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. *Le Courrier de l'Environnement*, 57, 73-91.
- Pahl-Wostl C., 2005.** Actor based analysis and modelling approaches. *The Integrated Assessment Journal*, 5, 97-118.
- Papy F., Torre A., 2002.** Quelles organisations territoriales pour concilier production agricole et gestion des ressources naturelles ? *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, 33, 151-169.
- 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. *Eur. J. Agron.*, 7, 271-283.
- Sadok W., Angevin F., Bergez J.E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2008.** Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi-criteria decision-aid methods. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 163-174.

- Schott C., Mignolet C., Meynard J.M., 2010.** Les oléoprotéagineux dans les systèmes de culture : évolution des assolements et des successions culturales depuis les années 1970 dans le bassin de la Seine. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17 (5), 276-291.
- de Schutter O., 2010.** Rapport du Rapporteur spécial sur le droit à l'alimentation, Organisation des Nations Unies, Assemblée Générale du 20 décembre 2010, 23 pages.
- Soulard C.T., 2005.** La multifonctionnalité de l'agriculture en pratique : étude des relations entre exploitations agricoles et étangs de la Dombes. *Cybergeo, European Journal of Geography*, 319, 12 p. <http://cybergeo.revues.org/6610> ; DOI : 10.4000/cybergeo.6610
- Thenail C., Joannon A., Capitaine M., Souchere V., Mignolet C., Schermann N., Di Pietro F., Pons Y., Gaucherel C., Viaud V., Baudry J., 2009.** The contribution of crop-rotation organization in farms to crop-mosaic patterning at local landscape scales. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 131, 207-219.
- Vanloqueren G., Baret P., 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.
- Vanloqueren G., Baret P., 2009.** How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy*, 38, 971-983.
- Warner K.D., 2007.** *Agroecology in action; extending alternative agriculture through social networks*, the MIT Press, Cambridge (USA), London (UK).
- Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C., 2009.** Agroecology as a science, a movement or a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29 (4), 503-515.