

Un cadre conceptuel pour penser maintenant (et organiser demain) la transition agroécologique de l'agriculture dans les territoires

Michel Duru^a
M'hand Fares^a
Olivier Therond^a

Inra
UMR AGIR
24 Chemin de Borde Rouge
BP 52627
31326 Castanet Tolosan cedex
France
<mduru@toulouse.inra.fr>
<mfares@toulouse.inra.fr>
<olivier.therond@toulouse.inra.fr>

Résumé

Les forts impacts négatifs de l'agriculture sur l'environnement, combinés à la crise énergétique et à l'essoufflement du modèle productiviste, conduisent à deux formes de modernisation écologique de l'agriculture. La forme « faible » correspond à la mise en œuvre de bonnes pratiques pour améliorer l'efficacité des intrants ou en réduire les impacts environnementaux. La forme « profonde » correspond à un changement de paradigme dans la mesure où l'on cherche à substituer aux intrants classiques (notamment chimiques) les services rendus par la diversité biologique des agroécosystèmes. Sa mise en œuvre est complexe car il est nécessaire de réviser les modes de gestion des exploitations, des filières et des ressources dans un territoire. Après avoir rappelé les principes sur lesquels repose ce type d'agriculture, nous analysons les forces et faiblesses de trois cadres conceptuels existants (systèmes famille-exploitation, socio-écologique et sociotechnique) pour penser une profonde modernisation écologique de l'agriculture. Nous proposons ensuite un cadre conceptuel intégrateur, interdisciplinaire et multiniveau, articulés et enrichissant les trois précédents, qui décrit la nature du système concerné par cette transition agroécologique. Ce cadre conceptuel formalise un système d'acteurs, dont les stratégies d'action sont le produit de normes et accords formels et informels, en interaction, *via* les technologies, avec les ressources matérielles propres aux exploitations agricoles, aux filières et aux territoires de gestion des ressources naturelles. Ce cadre a vocation à être utilisé pour analyser les systèmes agricoles dans un territoire et concevoir une agriculture locale fortement écologisée, c'est-à-dire un système agroécologique territorialisé. Nous analysons ensuite les conditions de mise en œuvre d'une profonde modernisation écologique de l'agriculture que nous appelons « transition agroécologique ». Nous terminons en évoquant notamment la diversité des innovations à promouvoir, la diversité des acteurs à coordonner et par conséquent la nécessité de mettre en œuvre une démarche de conception des modalités de la transition agroécologique de l'agriculture à la fois participative, holistique, transdisciplinaire et située (c'est-à-dire territorialisée).

Mots clés : agroécologie ; aide à la décision ; durabilité ; système agricole.

Thèmes : agronomie ; méthodes et outils ; ressources naturelles et environnement.

Abstract

A conceptual framework for thinking now (and organising tomorrow) the agroecological transition at the level of the territory

The strong negative impacts of agriculture on the environment, combined with the energy crisis and the slowdown of the productivist model, has led to two forms of greening of agriculture. One, called “weak ecological modernisation” corresponds to the implementation of good agricultural practices that improve input efficiency. The other, called “strong ecological modernisation” is based on ecosystem services provided by biodiversity. It corresponds to a paradigm shift due to the complexity in designing and implementing it. Strong ecologisation of agriculture requires to deeply revise farming systems, resource

^a Co-premiers auteurs.

management at the territorial/landscape level, and the agrifood chain. After reviewing the principles underpinning this type of agriculture, we analyse the strengths and weaknesses of three conceptual frameworks (farming systems, socio-ecological systems and socio-technical systems) with respect to this goal. We then propose an interdisciplinary multi-level conceptual framework integrating and articulating the three previous ones. It describes the nature of the system affected by this agroecological transition. This framework formalizes a system of actors whose behaviour is determined by formal and informal norms and agreements, interacting via technology, with farms, landscape and agrifood chain resources. This conceptual framework is intended to be used to analyse current agricultural systems at the territorial level and design strongly ecologised agricultural systems or “territorialized agroecological systems.” In the following, we analyse the conditions for the implementation of the strong ecologisation of agriculture. We emphasize in particular the diversity of innovations to promote, the diversity of actors to coordinate, and therefore the need to implement a participatory, holistic, transdisciplinary and “localized” (so called “territorialized”) design approach of the features of agroecological transition.

Key words: agricultural systems; agroecology; decision making; sustainability.

Subjects: agronomy; natural resources and environment; tools and methods.

Dans les pays développés, l'agriculture productiviste s'est fortement développée après la seconde guerre mondiale. Ce type d'agriculture est fondé sur l'utilisation de technologies faciles à transférer (intrants de synthèse, ingénierie génétique) permettant de réduire au maximum l'effet des facteurs de production limitants et l'hétérogénéité du milieu naturel. Ce modèle a conduit à une uniformisation et à une standardisation des modes de production (raccourcissement des rotations, réduction du nombre d'espèces cultivées et élevées) et, dans un souci d'économie d'échelle et de simplification du travail, à une spécialisation des systèmes de production et des territoires en fonction de leurs avantages comparatifs (Meynard, 2013). La volonté d'augmenter la sécurité sanitaire des productions agricoles et leur standardisation a en outre prolongé et renforcé ce processus (Lamine, 2011 ; Horlings et Madsen, 2011). Dans les années 1980 a émergé une prise de conscience des effets négatifs de ce modèle de production sur la biodiversité et les écosystèmes, les prélèvements d'eau dans les zones de sécheresse hydrologique, la raréfaction des ressources fossiles, les changements globaux ; mais aussi les effets sur la santé humaine du fait de l'usage important

de certains pesticides ou de la modification de la composition des produits (par exemple composition en acides gras des produits animaux [Borreani *et al.*, 2013]). Dans le même temps, l'objectivation des impacts environnementaux de l'agriculture, la prise de conscience sociétale liée à leur médiatisation, ainsi que la redéfinition des objectifs attribués à l'agriculture par les politiques agricoles, sont à l'origine de deux formes de modernisation écologique de l'agriculture (Horlings et Madsen, 2011). La première forme, en continuité de l'agriculture productiviste, correspond à une « faible modernisation écologique » (« *weak ecological modernisation* ») de l'agriculture. Elle est fondée sur l'augmentation de l'efficacité des intrants (l'eau, par exemple), le recyclage des déchets ou sous-produits d'un sous-système par un autre (Kuisma *et al.*, 2012) par la mise en œuvre de bonnes pratiques agricoles (Ingram, 2008) ou de technologies relevant de l'agriculture de précision (Rains *et al.*, 2011). Elle peut aussi correspondre à de nouvelles technologies faciles à transférer comme des intrants biologiques (Singh *et al.*, 2011) et des organismes génétiquement modifiés (OGM). Comme elle vise avant tout à réduire les principaux impacts environnementaux négatifs, elle est aussi qualifiée par certains

auteurs « d'intensification écologique » (*cf.* Hochman *et al.*, 2013). Notons que certaines de ces pratiques sont néanmoins susceptibles de générer des effets secondaires, tel le développement de phénomènes de résistance des bioagresseurs des plantes. La seconde forme, en rupture avec le modèle productiviste, correspond à une « profonde modernisation écologique » (« *strong ecological modernisation* ») de l'agriculture. Elle nécessite un changement de paradigme. En complément des principes de recyclage des ressources, et de maîtrise des flux, il s'agit d'utiliser la biodiversité pour produire des « services intrants » supports de la production (disponibilité de l'eau, fertilité, contrôle des bioagresseurs...) et de régulation des flux (qualité de l'eau, régulation des cycles biogéochimiques...) (Le Roux *et al.*, 2008). Ces différents services dépendent de pratiques mises en œuvre à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation agricole, mais aussi du paysage. La complexité vient du fait qu'il est nécessaire d'intervenir à des niveaux d'organisation supérieurs à la parcelle pour promouvoir certains services (régulation biologique par exemple), mais aussi de ce que les pratiques mises en œuvre à l'échelle de la parcelle ont des impacts, par effet de cascade, à des niveaux d'organisation supérieurs (le groupe de parcelles,

le bassin-versant... [Walker et Meyers, 2004 ; Galloway *et al.*, 2008]). La profonde modernisation écologique est mise en avant par certains auteurs comme la voie à privilégier pour nourrir le monde (Pretty, 2008). Elle permet de concilier production agricole et gestion (conservation, amélioration) des ressources renouvelables. Cette forme de modernisation écologique de l'agriculture fondée sur des concepts de l'écologie est aussi qualifiée « *d'écologiquement intensive* » (Griffon, 2007 ; Bonny, 2011). Alors que le modèle d'agriculture productiviste et sa faible modernisation écologique sont essentiellement fondés sur des technologies clef en main et/ou la mise en œuvre de bonnes pratiques, l'enjeu de la profonde modernisation écologique est de réduire les intrants de synthèse (fertilisants, pesticides) par la mise en œuvre de pratiques favorisant la diversité biologique à différentes échelles d'espace et de temps (Altieri, 1999 ; Kremen *et al.*, 2012). Ces pratiques entraînent un changement de paradigme puisqu'elles visent non seulement à réduire les impacts sur l'environnement, mais aussi à renforcer la diversité biologique et les services associés (Scherr et McNelly, 2008). L'objectif de cet article est de proposer un cadre conceptuel interdisciplinaire et multiniveaux pour penser et organiser au sein des territoires, une transition agroécologique porteuse d'une profonde modernisation écologique de l'agriculture. À cette fin, après avoir précisé la nature et les conditions de mise en œuvre de systèmes écologiquement intensifs, nous analysons tout d'abord les forces et faiblesses de trois cadres conceptuels existants qui permettent de penser cette profonde modernisation écologique de l'agriculture, respectivement, au sein des systèmes famille-exploitation, des systèmes socio-écologiques et des systèmes sociotechniques. Puis, nous proposons un cadre conceptuel intégrateur, articulatif et enrichissant les trois précédents – cadre conceptuel qui décrit la nature du système territorial concerné par cette transition agroécologique. Partant de ce cadre, nous examinons les conditions nécessaires à cette transition. Nous concluons en présentant rapidement les grandes lignes d'une démarche à mettre en œuvre pour faire émerger et

accompagner le développement d'innovations s'inscrivant dans une profonde modernisation écologique de l'agriculture.

Fondements d'une profonde modernisation écologique de l'agriculture et cadres d'analyse existants

Fondements d'une profonde modernisation écologique de l'agriculture

Nombre de recherches convergent sur le fait qu'une condition de base pour le développement d'une agriculture écologiquement intensive est l'augmentation de la diversité biologique à différentes échelles d'espace (de la parcelle au paysage) et de temps (période culturale, succession culturale) de façon à favoriser les interactions entre les plantes, les animaux et les micro-organismes. Ces interactions permettent de : i) fournir des services « intrants » en améliorant par exemple les composantes physiques, chimiques et biologiques de la fertilité des sols (Drinkwater, 2009) ; ii) de réduire la pression des bioagresseurs et favoriser les auxiliaires (Power, 2010). Les pratiques et aménagements permettant d'augmenter la diversité biologique (travail du sol simplifié, rotations de cultures, cultures/variétés associées, intercultures, cultures sous couvert, aménagement de structures paysagères, par exemple) doivent assurer le maintien de la production agricole, mais aussi réduire les externalités négatives de l'agriculture (telles que les émissions de gaz à effet de serre) tout en favorisant la production de biens communs comme la séquestration du carbone. Ces services émanent de processus qui sont pour la plupart biologiques. La mise en œuvre de ces processus, et donc le niveau de régulation interne du fonctionnement des agroé-

cosystèmes, dépend du maintien de l'intégrité et de la diversité biologique de ces agroécosystèmes (Koohafkan *et al.*, 2011). La réduction de ces services, du fait d'une simplification de la diversité biologique au sein des agroécosystèmes, conduit à une augmentation importante des coûts de production agricole, de la fréquence des interventions humaines et de leurs impacts environnementaux (Francis et Porter, 2011). En termes de gestion, trois types de diversité sont à distinguer (Altieri, 1999) :

- la diversité planifiée qui correspond aux cultures et animaux introduits dans l'écosystème par l'agriculteur. Son renforcement à l'échelle de la parcelle peut avoir pour objectif de mieux utiliser les ressources (lumière, eau, minéraux) du fait des complémentarités fonctionnelles (morphologique, phénologique et physiologique) entre espèces et génotypes ;
 - la diversité associée qui colonise l'agrosystème en provenance de l'environnement biophysique de celui-ci, c'est-à-dire du paysage. Elle dépend de la diversité planifiée (génotypes exploités), des modalités de gestion de cette dernière, et de la diversité biologique existant à l'échelle du paysage ;
 - la diversité biologique à l'échelle du paysage, c'est-à-dire dans l'environnement des parcelles (bioagresseurs et auxiliaires des cultures, animaux, plantes, etc.). Elle est déterminée par la structure du paysage (répartition spatiale des cultures, des prairies, zones boisées et humides, haies...).
- Elle peut contribuer à la régulation des cycles biogéochimiques et des interactions biotiques.

La profonde modernisation écologique de l'agriculture s'appuie sur des pratiques permettant d'accroître ces trois types de diversité à des niveaux *ad hoc*, et de les gérer (Koohafkan *et al.*, 2011). Par exemple, la protection intégrée des cultures s'appuie sur l'une ou plusieurs des formes de diversité biologique, soit pour limiter les risques au travers du choix de variétés ou d'espèces (ou de mélanges de celles-ci), soit par l'organisation de structures paysagères *ad hoc* (Power, 2010). De même, l'agriculture de conservation, basée sur un travail minimum du sol, vise entre autres à renforcer la diversité biologique dans le sol (Kassam *et al.*, 2012).

La profonde modernisation écologique de l'agriculture reste néanmoins difficile puisque :

– aux innovations agronomiques incrémentales, qui contribuent surtout à l'augmentation de l'efficacité des facteurs de production, doivent s'ajouter des innovations de rupture plus complexes à mettre en œuvre (Meynard *et al.*, 2012) ;

– les acteurs doivent se coordonner, notamment pour l'aménagement de structures paysagères, pour la répartition spatiale des cultures ou pour des échanges de matières (Brewer et Goodell, 2010), tout autant que pour anticiper et gérer les effets cascades potentiels de ces pratiques collectives (Walker et Meyers, 2004 ; Galloway *et al.*, 2008) ;

– le développement de nouveaux systèmes de culture basés sur une diversité de cultures (cultures associées ou intermédiaires, par exemple) et sur une réduction d'intrants peut poser des problèmes au niveau des filières de production et de commercialisation : difficultés technologiques lors des phases de récolte/collecte/transformation, difficultés organisationnelles (partage du risque, faibles incitations à investir...) (Fares *et al.*, 2011 ; Meynard *et al.*, 2013) ;

– l'incomplétude des connaissances lors de la mise en œuvre des pratiques conduit à une prise de risque par les agriculteurs. Cette incomplétude peut porter sur les processus écologiques à maîtriser (rôle de la diversité associée par exemple), sur la difficulté d'observation des états de l'écosystème, et sur la difficulté de prédire les effets des pratiques (Williams, 2011). La manière de faire face à cette incomplétude, en termes de connaissances produites et de modalités de travail avec les partenaires, est au mieux signalée (Shennan, 2008 ; Brewer et Goodell, 2010 ; Bonny, 2011 ; Médiène *et al.*, 2011), mais à notre connaissance n'est pas traitée. Sa prise en compte nécessite de réviser les connaissances finalisées produites par la recherche agronomique, et plus largement la contribution des chercheurs aux innovations (Jiggins et Roling, 2000).

Compte tenu de la grande diversité des situations de production (sol-climat-biologie) à l'échelle d'un continent, d'un pays, voire d'un bassin-versant, les principes rappelés ci-dessus

doivent être déclinés localement pour fournir la gamme de services écosystémiques recherchés (Douthwaite *et al.*, 2002 ; Eviner et Hawkes, 2008). En conséquence, le processus d'innovation devra être adapté, notamment en créant des réseaux locaux d'innovation permettant des apprentissages en situation (Klerkx et Leeuwis, 2008).

Il apparaît donc clairement que pour produire une profonde modernisation écologique de l'agriculture les innovations ne peuvent pas seulement être technologiques et techniques. Elles doivent aussi être sociales, économiques et institutionnelles. Elles ne peuvent pas, non plus, être pensées uniquement à l'échelle de la parcelle, du troupeau et de l'exploitation. Elles doivent l'être également au niveau des filières et des territoires de gestion des ressources naturelles. Les modes de production à mettre en œuvre pour développer et valoriser la diversité biologique sont éminemment situés. Ils peuvent générer des contraintes sur les filières et les conditions locales de gestion des ressources naturelles. En conséquence, il est incontournable de penser et d'organiser cette transformation de l'agriculture à l'échelle territoriale locale, afin de prendre en compte les réseaux d'acteurs, les institutions et les entreprises en interaction localement (Klerkx et Leeuwis, 2008 ; Knickel *et al.*, 2009).

Forces et faiblesses de trois cadres conceptuels

Pour penser la mise en œuvre de cette nouvelle forme d'agriculture, il est nécessaire de recourir à des cadres conceptuels qui prennent en compte les niveaux d'organisation et les domaines dans lesquels les changements doivent intervenir. Nous avons identifié trois approches qui nous semblent clés : le système famille-exploitation et les systèmes d'innovation associés pour analyser l'organisation et la dynamique des systèmes de production (choix et stratégies de production) ; les systèmes socio-écologiques pour analyser les modes de gestion des ressources naturelles au niveau d'un territoire ; les systèmes sociotechniques pour comprendre les dynamiques des activités, en particulier les transitions dans les façons de produire, reproduire et capitaliser.

Dans cette partie, nous présentons les caractéristiques clés de ces trois approches et identifions leurs principales limites pour penser la profonde modernisation écologique de l'agriculture à l'échelle locale.

Les systèmes famille-exploitation (SFE farming system) et les systèmes d'innovation associés

En Europe, la plupart des exploitations agricoles peuvent être qualifiées de familiales dans la mesure où elles sont le plus souvent gérées par un chef d'exploitation ou un petit collectif. Plusieurs types d'exploitation peuvent être définis sur la base du nombre d'ateliers de production ou de cultures, et de leur niveau d'intégration, afin d'évaluer leurs performances et leurs capacités d'adaptation à des changements de contextes ou d'objectifs (Hendrickson *et al.*, 2008).

Les systèmes les plus simples ont généralement une gestion très planifiée. Leur dynamique est fondée sur l'amélioration génétique des végétaux et des animaux, l'acquisition d'équipements performants (matériel, bâtiment) et l'accroissement de l'efficacité des intrants – trois facteurs clés de l'augmentation de la productivité des terres et du travail. Le processus d'innovation en œuvre dans ces exploitations est souvent linéaire et « top-down » : la recherche produit des technologies clés en main appliquées par les acteurs. Ce type de processus était très en vogue dans les années 1960. Il est toujours d'actualité pour la diffusion de nombreuses technologies agricoles telles que celles qui permettent l'utilisation de sous-produits et déchets pour la production d'énergie, de l'agriculture de précision ou de nouvelles variétés ou espèces à haut potentiel de production.

A l'opposé, il existe des exploitations comprenant de multiples cultures ou ateliers qui interagissent dynamiquement dans l'espace et le temps, permettant ainsi de bénéficier de multiples synergies. Le haut niveau de diversité permet de limiter les risques liés à des variations de prix ou du climat (Darnhoffer *et al.*, 2010). Ces systèmes de production sont gérés dynamiquement de façon à valoriser

les opportunités qui se présentent à eux en effectuant des ajustements annuels, voire saisonniers. Ils sont basés sur des activités qui exploitent les potentialités actuelles du système de production pour répondre au mieux aux objectifs de court terme et qui lui fournissent une capacité d'adaptation pour répondre aux nouvelles opportunités et contraintes de moyens et longs termes. Ce mode de fonctionnement permet de s'adapter plus facilement à un environnement en évolution constante. Le processus d'innovation en œuvre dans ces exploitations agricoles est généralement plus collaboratif que dans le cas précédent. Les agriculteurs s'organisent en réseaux structurés dans la durée, et les relations avec la recherche sont souvent de type collaboratif, se traduisant ainsi par la coproduction de connaissances (Knickel *et al.*, 2009).

Ces deux archétypes de système de production sont les deux formes polaires d'un continuum. Ils correspondent chacun à une des deux formes de modernisation écologique de l'agriculture. Ce cadre d'analyse du fonctionnement des exploitations agricoles présente cependant trois limites principales : i) il ne prend pas vraiment en compte les risques de mise en œuvre de pratiques agroécologiques situées qui sont liés à l'incomplétude des connaissances (voir ci-dessus le paragraphe sur l'incomplétude des connaissances) ; ii) le système social considéré, dans la phase d'analyse systémique, est très souvent réduit à l'agriculteur de telle sorte que les interactions sociales entre celui-ci et les autres acteurs du territoire et des filières ne sont généralement pas considérées ; iii) l'impact des pratiques des agriculteurs à l'échelle du territoire sur l'état des ressources naturelles est peu ou pas pris en compte et évalué.

Les systèmes socio-écologiques (SSE)

La gestion des ressources naturelles implique, d'une part, un système social composé d'usagers, de gestionnaires et d'institutions mobilisant des technologies et des infrastructures pour gérer des ressources et, d'autre part, un système écologique complexe

générant ces ressources. Le système socio-écologique (*social-ecological system*) intègre ces deux systèmes. Les cadres conceptuels produits pour analyser ou modéliser les SSE (Anderies *et al.*, 2004 ; Oström, 2009 ; Sibertin-Blanc *et al.*, 2011) permettent de disséquer la complexité des interactions sociales, écologiques et socio-écologiques présentes dans ces systèmes. L'analyse de la dynamique de ces systèmes complexes repose sur les concepts de résilience-adaptation-transformation, selon l'ampleur des adaptations et des changements nécessaires pour préserver ou faire évoluer la structure et les fonctions du système (Holling, 2001 ; Folke *et al.*, 2002 ; Folke, 2006 ; Walker *et al.*, 2006 ; Folke *et al.*, 2011). Dans de nombreuses situations les problèmes de gestion des ressources naturelles sont associés à une défaillance de la gouvernance. Cette défaillance est elle-même souvent liée à une sous-estimation du caractère évolutif et de la complexité des systèmes socio-écologiques concernés (Pahl-Wostl, 2009 ; Pahl-Wostl *et al.*, 2010 ; Folke *et al.*, 2011). L'enjeu est alors double. D'une part, il s'agit de renforcer les capacités d'adaptation des systèmes de gouvernance des ressources naturelles, c'est-à-dire leur capacité à faire évoluer leurs modalités d'action, et si nécessaire à mettre en œuvre des modifications structurelles afin de faire face au mieux à des changements environnementaux ou sociaux. Les cadres conceptuels et méthodologiques développés fournissent alors un support pour analyser les régimes de gouvernance en place et pour guider la transition vers des « *systèmes de gouvernance adaptatifs* » (Pahl-Wostl *et al.*, 2010). D'autre part, il s'agit de mettre en œuvre une gestion adaptative qui a pour objectif une amélioration continue des politiques et pratiques de gestion des ressources naturelles. Cette gestion est basée sur un apprentissage structuré des effets des stratégies de gestion, au fur et à mesure de leur mise en œuvre (Pahl-Wostl, 2009). La mise en œuvre de stratégies de gestion est alors considérée comme faisant partie d'un dispositif expérimental et d'apprentissage. Ce mode de gestion correspond à un processus de décision adaptatif, délibératif et itératif dont l'objectif est de prendre en compte et

faire face : i) aux incertitudes sur le fonctionnement des systèmes écologiques et sur les effets des pratiques de gestion ; ii) aux imperfections et limites de détection des variations de l'état de l'environnement sous l'effet des processus écologiques ou des actions de gestion ; iii) à la difficulté, voire l'impossibilité, de contrôler l'ensemble des actions de gestion au sein du SSE ; iv) au caractère stochastique, et donc imprévisible de certains processus écologiques (Williams, 2011). Cette gestion adaptative est souvent associée à l'organisation d'un apprentissage collectif (*social learning*) dont les principaux objectifs sont la compréhension mutuelle, le partage de points de vue, le développement collectif de nouvelles stratégies adaptatives de gestion des ressources et la constitution de « *communautés de pratiques* » (Pahl-Wostl et Hare, 2004 ; Armitage *et al.*, 2008 ; Newig *et al.*, 2008). Ces cadres conceptuels et méthodologiques de gestion sont plus particulièrement appliqués pour gérer une ressource naturelle à l'échelle locale (par exemple l'eau [Pahl Wostl, 2007]) ou pour faire face collectivement à un phénomène remettant en cause la durabilité de l'écosystème ou la sécurité civile (par exemple l'érosion [Souchère *et al.*, 2010]) ou encore pour gérer les externalités négatives des activités humaines (par exemple les émissions de nitrates [Toderi *et al.*, 2007]). Dans la plupart de ces situations, le raisonnement à partir des cadres d'analyse des SSE peut permettre aux différentes parties prenantes de construire une représentation partagée de leur territoire et de co-concevoir des stratégies de gestion permettant d'atténuer les problèmes liés aux interactions homme-environnement. Pour assurer l'acceptabilité sociale de ces stratégies de gestion, les associations de citoyens et de protection de la nature sont, ou doivent être, associées à ces processus de production collective de connaissances. Néanmoins, une faiblesse de cette approche est le plus souvent d'attaquer la question de la gestion de ressources naturelles et de l'impact des activités humaines agricoles : i) sans s'attacher réellement aux cohérences agronomiques et organisationnelles au sein des systèmes de production ; ii) sans

imaginer les changements nécessaires dans les filières et les politiques agricoles ; et iii) sans conduire une analyse structurée du système d'acteurs en vue de comprendre leurs contraintes et leurs stratégies d'action et la nature des échanges sociaux.

Les systèmes sociotechniques (SST)

La dynamique des innovations et des façons de produire des biens au sein des secteurs économiques ou des filières peut être conçue comme la résultante des interactions entre trois niveaux d'organisation : les niches de production (configuration instable de réseaux formels et informels d'acteurs d'où sont susceptibles d'émerger des innovations radicales) ; les régimes sociotechniques (configuration relativement stable associant des institutions, des techniques et des artefacts, ainsi que des réglementations, standards et normes de production, des pratiques et des réseaux d'acteurs) ; et le contexte global appelé « paysage » (ensemble des facteurs externes aux régimes qui « cadrent » les interactions entre acteurs : valeurs culturelles, institutions politiques, problèmes environnementaux...). Un régime sociotechnique associe les acteurs économiques, mais aussi les décideurs politiques et les associations de consommateurs qui peuvent peser sur les choix de production et de consommation. Le système sociotechnique intègre ces trois niveaux (Geels, 2002). Sa dynamique est abordée par l'analyse du processus d'adoption et de diffusion des innovations portées par des niches, et la transformation du ou des régimes sociotechniques dominants sous la pression du développement de ces niches et des incitations et changements réglementaires provenant du niveau supérieur, le « paysage » (Geels, 2002 ; Geels, 2005 ; Smith et Stirling, 2010). Actuellement, le régime sociotechnique dominant est le modèle productiviste souvent inscrit dans un processus de faible modernisation écologique (Lamine, 2011 ; Hurlings et Mardsen, 2011). L'agriculture biologique correspond à des régimes de moindre importance en termes de volumes de production et de nombre de systèmes et surface

de production concernés. Ces régimes s'appuient sur des systèmes de production cohérents associant normes et standards de production avec des configurations stabilisées de réseaux d'acteurs. Le modèle productiviste est dominant du fait de ses capacités à créer des situations de verrouillage technologique, organisationnel et institutionnel (David et Arthur, 1985 ; Cowan et Gunby, 1996 ; Vanloqueren et Baret, 2008 ; Vanloqueren et Baret, 2009). L'agriculture raisonnée, de même que l'agriculture à haute valeur environnementale, peuvent être assimilées à des formes de faible modernisation écologique de cette agriculture. Les niches, quant à elles, correspondent à différentes filières de production et de commercialisation plus ou moins structurées qui coexistent, de façon complémentaire ou concurrentielle. Ces niches existent souvent sous forme de réseaux (en France, réseaux BASE pour l'agriculture de conservation ; réseaux RAD-CIVAM pour l'agriculture durable). Ces réseaux promus par des groupes d'agriculteurs défendent des modes de production alternatifs, voire une idéologie spécifique (réseaux d'agriculture durable et solidaire, par exemple). Actuellement, faute d'avoir pu développer des signes de qualité qui permettent une valorisation de leurs produits sur le marché (Fares *et al.*, 2011), ou d'obtenir des aides reconnaissant leur impact positif sur le territoire, ils restent à l'état de niche. Le raisonnement à partir des cadres d'analyse des SST permet de déterminer la manière de renforcer les régimes lorsqu'ils sont menacés, ou d'identifier les verrous qui empêchent un changement de régime, alors que des contreperformances manifestes sont observées (Schiere *et al.*, 2012). Elle constitue aussi un cadre utile pour identifier les conditions d'émergence et de stabilisation des niches, voire de leur accès au statut de régime. Cette approche connaît cependant un certain nombre de limites pour penser la profonde modernisation écologique de l'agriculture : i) l'angle d'attaque de la question de l'innovation par la dynamique des niches et des régimes sociotechniques amène à négliger la gestion collective des ressources naturelles et les conditions de mise en œuvre de cette gestion à l'échelle locale ; ii) si la dynamique des niches

est présentée, la question de leur gouvernance est absente dans cette analyse ; iii) le niveau d'analyse de l'exploitation agricole et les cohérences biotechniques n'est généralement pas considéré.

Un cadre conceptuel intégrateur pour penser la transition agroécologique

Comme spécifié précédemment, l'enjeu d'une profonde modernisation écologique de l'agriculture est de penser et d'articuler de manière cohérente des changements technologiques, organisationnels et institutionnels aux niveaux des exploitations agricoles, des filières et des territoires de gestion des ressources naturelles. Le caractère sectoriel et les limites des trois approches présentées ci-dessus révèlent l'inadéquation de celles-ci pour faire pleinement face à ces enjeux. C'est pourquoi dans cette partie nous présentons successivement un cadre conceptuel pour aider à appréhender la nature du système concerné par la transition agroécologique de l'agriculture, ainsi qu'une caractérisation des difficultés et des spécificités de la mise en œuvre d'innovations. Cette proposition a vocation à aider à penser et organiser la transition agroécologique à l'échelle locale ; c'est-à-dire du niveau de la parcelle aux territoires de collecte des filières et de gestion des ressources naturelles. Cette proposition est complémentaire d'approches traitant des interactions s'établissant entre le local et le global, mieux à même d'instruire la question des politiques publiques environnementales, agricoles et économiques – nationales et internationales.

Un cadre conceptuel intégrateur pour analyser les systèmes agricoles

Le cadre d'analyse présenté dans cette partie vise à formaliser la nature du

système (les entités et les relations entre elles) concerné par la mise en œuvre d'une transition agroécologique de l'agriculture. Pour construire ce cadre d'analyse nous avons tiré parti des atouts et spécificités des approches présentées précédemment (SFE, SSE, SST) et tenté de répondre aux faiblesses de chacune d'elle. La compatibilité théorique et l'intérêt d'hybrider les approches SSE et SST, d'une part, et SFE et SSE, d'autre part, a déjà été analysée et démontrée (respectivement par Smith et Stirling [2010] ainsi que par Darnhoffer *et al.* [2010]). Nous amplifions ces démarches en hybridant ces trois approches et nous l'appliquons à l'agriculture. Chacun des trois systèmes analysés (SFE, SSE, SST) étant composé de deux grands types d'entités, des acteurs et des ressources, nous proposons de les analyser en tant que telles, puis d'examiner les technologies mobilisées par les acteurs pour gérer les ressources. Enfin, nous présentons la nature des interactions entre acteurs impliqués dans ces systèmes.

Les acteurs de l'agriculture sont impliqués dans la gestion de l'exploitation agricole, des ressources naturelles et des filières agricoles. Chacun d'entre eux peut être impliqué soit dans un seul de ces processus de gestion, soit, comme beaucoup d'agriculteurs, dans deux ou trois de ces processus (*figure 1*, sommet de la pyramide). Pour les SSE et SST, le système social (le système d'acteurs) est reconnu comme déterminant de leur fonctionnement. Dans l'analyse des SSE l'accent est mis sur les usagers des ressources naturelles et les organisations impliquées dans leur gestion, incluant les associations et organisations de protection de la nature. Dans l'analyse des SST appliquée au domaine agricole, il est plutôt question des organisations composant le système de production et de commercialisation au sein des filières. Dans le système famille-exploitation, l'agriculteur représente la dimension sociale (Ten Napel *et al.*, 2011), mais il y est rarement considéré comme un agent socialisé dont le comportement est déterminé par ses interactions sociales. Ici, nous posons que l'agriculteur, comme tout autre acteur, intervient dans le jeu social et que son comportement dépend de celui-ci (Vanclay,

2004 ; Klerkx et Leeuwis, 2008). Dans ce système d'acteurs interviennent également les acteurs de la formation, du conseil et du développement agricole (non partie prenante des filières), comme, par exemple pour la France, les lycées agricoles, les chambres d'agricultures et les réseaux d'agriculture durable.

Deux grands types de ressources sont gérés par ces acteurs : des ressources matérielles dotées d'une dimension biophysique, et donc positionnables dans un repère espace-temps, et des ressources cognitives, immatérielles, correspondant à des connaissances, croyances, valeurs, procédures que les acteurs utilisent pour définir leurs objectifs, concevoir leurs stratégies propres ou alliances et conduire leurs actions. Nous considérons les ressources matérielles comme un construit social et non pas comme une caractéristique intrinsèque aux objets biophysiques qui font ressource pour les acteurs. En effet, les dimensions et les propriétés de l'objet biophysique pertinentes pour le qualifier comme ressource dépendent directement du processus de gestion en jeu. Par exemple, pour l'agriculteur, la valeur économique et les propriétés technologiques de la ressource « grain de blé » ne sont pas obligatoirement les mêmes que celles qui sont considérées par les autres acteurs de la filière. Le même type d'exemple pourrait être développé en distinguant les ressources en eau, pour l'irrigation gérée au sein des exploitations, et les ressources en eau gérées par les gestionnaires intervenant à l'échelle d'un bassin-versant. Les processus de gestion des exploitations, des filières agricoles et des ressources naturelles à l'échelle locale ont pour objectif de conserver/restaurer/protéger ou produire/développer certaines de ces ressources matérielles, sachant que leur mise en œuvre peut avoir un impact, non désiré, sur l'état d'autres ressources. On peut distinguer trois grands systèmes de ressources matérielles (RM) associés à ces trois processus de gestion (*figure 1*, base de la pyramide) : i) le système de RM de l'exploitation (RM-E) mobilisé par l'agriculteur pour ses activités agricoles ; ii) le système de RM mobilisé par les acteurs de chaque filière pour les activités de collecte, de transformation et de commercialisation (RM-F) ; et iii) le système de RM mobilisé par les

acteurs dans la gestion des ressources naturelles (N) déterminant la dynamique de l'agriculture locale et agissant à l'échelle des territoires (T) de gestion de ces ressources (RM-NT). Ces systèmes de RM comprennent des entités en relation, voire en interaction, telles que les parcelles, la biodiversité planifiée (les cultures, les animaux), la biodiversité associée, le matériel, les bâtiments, les ressources en eau, la main-d'œuvre pour le système de RM-E, les équipements de transport, de stockage et de transformation, les voies de circulation pour le système de RM-F, les ressources en eau, sol, la biodiversité (entre autre associée), les composants de la structure du paysage (haie, forêts, réseau hydrologique) pour le système de RM-NT. En outre, du fait de leur formalisation sur des supports matériels et de leur caractère opposable, nous incluons dans ces trois systèmes de RM les normes formelles (c'est-à-dire lois, règlements, contrats, politiques publiques, etc.) négociées localement ou à des niveaux d'organisations supérieurs (par exemple région, nation, Union européenne). Elles ont pour objectif de cadrer, financer ou promouvoir les modes de production au sein des exploitations agricoles (par exemple, politiques agricoles, mesures agroenvironnementales pour les RM-E), les interactions économiques entre acteurs ou les modes de production au sein des filières (par exemple, standard de production pour les RM-F, lois et règlements du contexte global du SST) et les interactions entre les acteurs et les ressources naturelles (par exemple, lois sur l'eau pour les RM-NT). Elles ont aussi pour objectif d'organiser les modes de fonctionnement des organisations formelles (exploitation agricole, entreprise, coopérative, institution publique, association, arène formelle de concertation...). Les infrastructures existantes, dont le choix et la mise en œuvre relèvent d'une logique de planification à long terme (bâtiment, canal d'irrigation, barrage, équipements de stockage et séchage de grains de grande dimension, voie de communication, etc.), nécessitant souvent des investissements lourds, sont également retenues comme des ressources matérielles et de ce fait considérées dans les trois systèmes de ressources. En effet, du point de vue

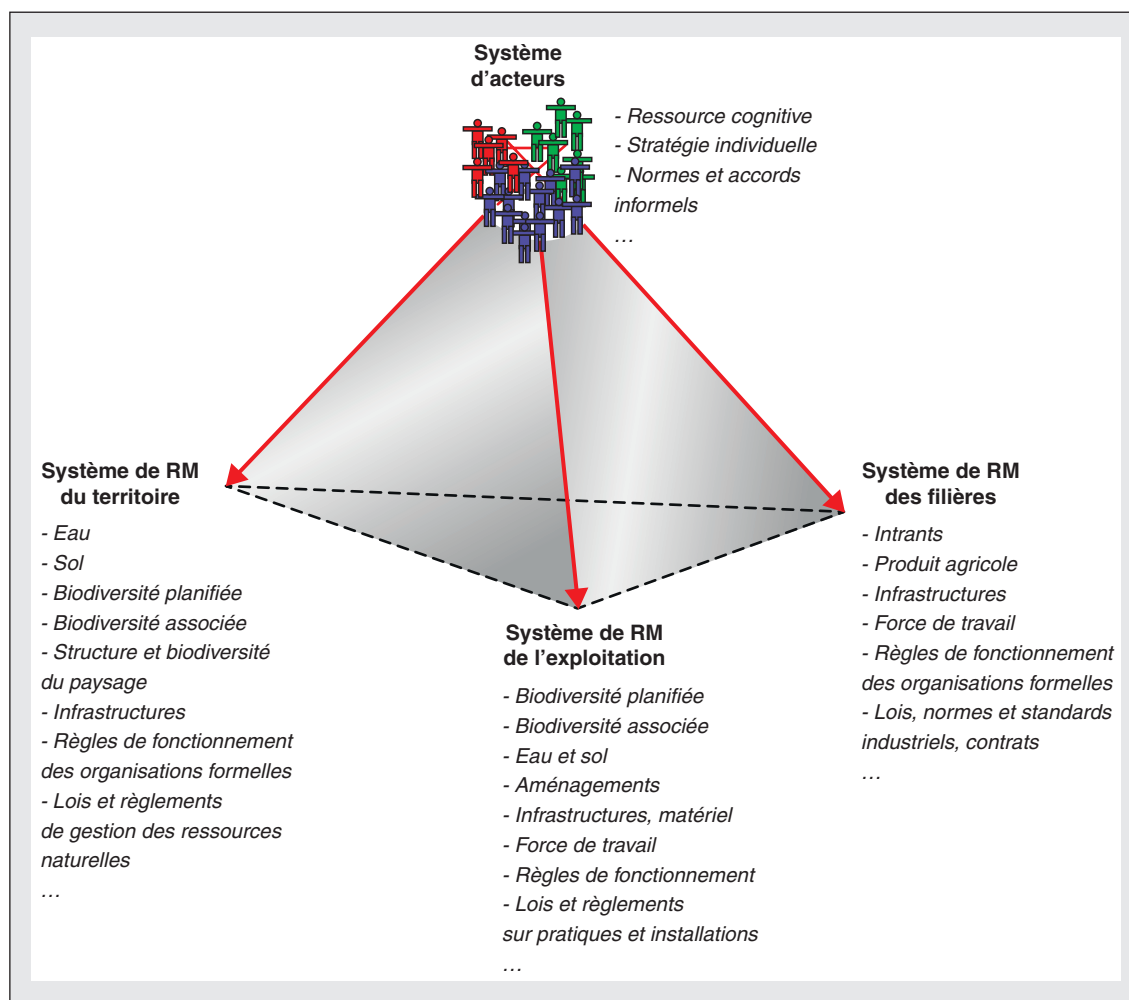


Figure 1. Représentation de l'agriculture locale comme un système d'acteurs mobilisant des technologies pour gérer trois types de ressources matérielles.

Figure 1. Representation of the local agriculture as a system of actors managing three types of material resource systems through technologies.

L'agriculture locale vue comme un système d'acteurs, composé d'agriculteurs et d'autres acteurs dotés de ressources cognitives (croyances, valeurs, connaissances, procédures) et de stratégies individuelles dont le comportement est déterminé par des normes et accords informels, en interaction avec trois systèmes de ressources matérielles (RM : de l'exploitation, du territoire et des filières), au travers de technologies utilisées par les acteurs (flèches sur les arêtes de la pyramide), souvent de manière dédiée, pour gérer les trois grands systèmes de RM types. Les pointillés reliant les trois systèmes de RM expriment le fait qu'ils ne sont pas indépendants les uns des autres. La pyramide traduit le fait que l'agriculture locale doit être pensée, organisée et gérée comme un tout.

de la gestion à court et moyen terme, ce type d'infrastructure est regardé comme un type de ressources qui offre des opportunités ou représente des contraintes dans le processus de gestion des acteurs. Les trois systèmes de ressources matérielles sont très souvent interdépendants, voire emboîtés ; une même entité biophysique peut constituer une ressource pour différents sous-systèmes, domaines et niveaux. Cette interdépendance peut être directe ou indirecte. Par exemple, l'eau gérée à l'échelle du territoire est utilisée dans les exploitations pour l'irrigation ; les productions agricoles issues des exploitations sont collectées, trans-

formées et distribuées par la filière. Chaque processus de gestion est basé sur, et déterminé par, des technologies qui lui sont propres, et qui sont utilisées pour intervenir sur le système de ressources concerné (figure 1, flèches reliant le système d'acteurs aux trois systèmes de RM). Ces technologies présentent des dimensions cognitive, technologique et organisationnelle/institutionnelle (Geels, 2005). Autrement dit, la nature des dispositifs technologiques et leurs modalités de mise en œuvre sont déterminées par les ressources cognitives (connaissances sur le fonctionnement du système géré, connaissances procédurales,

croyances, valeurs) et les modalités de coordination des acteurs qui les mettent en œuvre (Cash *et al.*, 2003). On peut noter qu'au sein de ces technologies, les systèmes d'information déterminent les modalités de qualification des ressources. La connaissance qu'ont les acteurs de l'état des ressources matérielles au fil du temps, et par conséquent leurs interventions pour les gérer dans le temps et l'espace, conditionnent leur capacité à atteindre leurs objectifs de performances. Les normes formelles, considérées ici comme des ressources matérielles, définissent le cadre formel dans lequel les interactions entre les

acteurs, et entre les acteurs et le milieu biophysique s'établissent. En accord avec l'économie institutionnelle (Williamson, 2002 ; Oström, 2005 ; Oström, 2009) et la sociologie de l'action organisée (Crozier et Friedberg, 1977), nous considérons que ces normes formelles ne déterminent pas complètement le comportement des acteurs. Autrement dit, dotés d'une rationalité limitée, les acteurs ont un certain degré de liberté et d'autonomie dans leurs choix et leurs actions. Comme Crozier et Friedberg (1977) et Williamson (2002), nous insistons sur le fait que les frontières entre les organisations (associations, entreprises, filières, collectifs de gestion de ressources, etc.) ne sont pas étanches. Au contraire, particulièrement en agriculture, les limites du système d'acteurs sont souvent difficiles à tracer. En effet, les acteurs sont impliqués dans de nombreuses organisations interdépendantes (un agriculteur peut appartenir à plusieurs collectifs agricoles de gestion, par exemple une association syndicale autorisée et une coopérative d'utilisation de matériel agricole [CUMA]), un dispositif de gestion des ressources naturelles (par exemple comité sécheresse [Debril et Therond, 2012]) et dans une ou plusieurs coopératives et filières – *figure 1*, partie supérieure). Aussi, plutôt que d'examiner les organisations en tant que telles, nous proposons d'analyser les relations entre les différentes stratégies individuelles afin de comprendre le système d'acteurs. Pour cela, il est possible de s'appuyer sur les cadres conceptuels et méthodologiques de la sociologie de l'action organisée ou de l'économie institutionnelle qui cherchent à comprendre comment les actions individuelles fabriquent, par des mécanismes d'agrégation, un ordre social spécifique. Ce type d'analyse permet de déterminer la nature des échanges entre les acteurs, c'est-à-dire les normes et accords informels qui constituent des mécanismes d'exécution des accords tout aussi puissants que les normes formelles (Crozier et Friedberg, 1977 ; Williamson, 2002 ; Oström, 2005 ; Oström, 2009). Ces normes et accords informels sont considérés comme des ressources cognitives. Ils peuvent prendre la forme de normes de comportement représentant

l'adaptation socialement située de normes formelles.

Cette représentation intégrée de l'agriculture locale (*figure 1*) permet de mettre en lumière : i) le rôle déterminant du système et du jeu d'acteurs dans le fonctionnement des systèmes agricoles du territoire ; ii) les trois grands types de ressources matérielles gérées par les acteurs de ces systèmes ; et iii) le rôle des technologies à l'interface entre acteurs et ressources matérielles. Chaque arête du tétraèdre correspond à une multiplicité de processus de gestion concrets. Ainsi, à l'échelle locale, coexistent une diversité de ressources naturelles différentes à gérer (eau, sol, biodiversité, paysage, etc.), et plusieurs processus de gestion d'une ressource (eau, par exemple). Il existe également une multiplicité d'exploitations agricoles et plusieurs filières. Pour ces dernières se côtoient souvent des niches plus ou moins structurées, et des filières correspondant à des régimes dominants plus ou moins représentés localement. La *figure 1* correspond donc à une représentation figurative, générale et simplifiée du cadre conceptuel présenté dans cette partie. Alors que l'analyse de l'état des RM-E et RM-NT et des processus écologiques à l'origine des modifications de l'état de ces ressources relève des sciences de la terre et de la nature, l'identification des RM-F, l'analyse du système d'acteurs et de la nature et du rôle des technologies dans ce dernier relèvent principalement des sciences humaines et sociales. En conséquence, pour conduire une analyse intégrée de l'agriculture locale, il est nécessaire d'articuler des connaissances issues de ces deux types de disciplines. L'agronomie, science intégrative par essence, qui s'intéresse aux interactions entre le socio-système et l'écosystème, a un rôle clef à jouer dans ce processus d'intégration des connaissances (Chevassus-au-Louis *et al.*, 2009).

Conditions d'une transition agroécologique de l'agriculture

Le cadre conceptuel présenté ci-dessus vise à aider les scientifiques et les acteurs à appréhender le système concerné par la transition agroécologique

de l'agriculture. Il peut être utilisé pour d'abord caractériser les « systèmes agricoles dans un territoire » présents actuellement, puis pour concevoir et décrire des formes d'agriculture agroécologiques que des acteurs de l'agriculture locale chercheraient à développer. Nous qualifions ces dernières de « système agroécologique territorialisé » (SAET). Cette distinction met en lumière les différences fondamentales entre les deux types d'agriculture locale : l'opposition entre des formes d'agriculture juxtaposées dans un territoire signifié par le pluriel de « systèmes agricoles », et les formes d'agriculture coordonnées et articulées du SAET, d'une part ; l'opposition entre des systèmes agricoles localisés dans un territoire mais tirant peu parti de ses caractéristiques biophysiques et socio-économiques signifiés par le « dans un territoire », et l'agriculture agroécologique ancrée dans les réalités biotechniques, sociotechniques et socio-écologiques locales, d'autre part. Ce cadre conceptuel doit permettre de structurer une démarche de recherche participative, entre acteurs du territoire et chercheurs, dont l'objectif est de concevoir les modalités locales de cette transition. Cette démarche de conception « territorialisée » représente l'étape initiale du processus d'innovation correspondant à la mise en œuvre d'une profonde modernisation écologique de l'agriculture en cohérence avec les spécificités biophysiques, économiques et sociales du territoire dans lequel elle doit s'insérer. Nous indiquons ci-dessous les traits marquants de la démarche à mettre en œuvre.

Le cadre conceptuel permet de considérer la profonde modernisation écologique de l'agriculture comme un système d'innovations, résultant d'interactions au sein du système d'acteurs impliqués dans la gestion des exploitations agricoles, des filières et des ressources naturelles à l'échelle territoriale. À l'image de Klerkx *et al.* (2012), nous considérons le processus d'innovation dans les systèmes agricoles comme une coévolution conduisant à des changements technologiques, sociaux, économiques et institutionnels portés par une diversité d'acteurs présentant des intérêts et des points de vue différents, mais n'ayant pas forcément

une expérience de négociation ou d'échange de points de vue. Les innovations à concevoir relèvent donc autant de changements dans les technologies, dans la nature des ressources matérielles (normes formelles, par exemple) que dans le fonctionnement du système d'acteurs (ressources cognitives et normes et accords informels). La démarche de conception des modalités de transition de l'agriculture locale doit donc impliquer une diversité d'acteurs, dont des chercheurs, représentatifs des différents domaines de gestion et d'action. Elle relève d'une approche transdisciplinaire et holistique qui s'attache à repenser les systèmes agricoles en s'intéressant tout particulièrement : i) aux interactions entre acteurs des exploitations agricoles, des filières et de la gestion des ressources naturelles ; ii) aux infrastructures, politiques et institutions favorables à l'innovation ; et iii) aux spécificités des pratiques agroécologiques situées et incomplètes des connaissances associées (Klerkx *et al.*, 2012). Pour faire face à l'incomplétude des connaissances liées à la profonde modernisation écologique de l'agriculture (voir ci-dessus les parties consacrées aux SFE et SSE), il est nécessaire que ce processus d'innovation permette d'organiser les modalités d'une gestion adaptative des exploitations agricoles, des filières et des ressources naturelles (voir partie sur les SSE). Il s'agit d'imaginer des pratiques et systèmes agricoles innovants mais aussi de favoriser l'apprentissage du plus grand nombre d'agriculteurs en structurant les réseaux sociaux d'acteurs (Warner, 2008 ; Moore, 2011). Il s'agit aussi d'organiser des arènes de choix collectif où les acteurs du territoire cherchent à établir de nouvelles règles pour structurer leurs actions dans les filières et les territoires (Oström, 2005 ; Pahl-Wostl, 2007 ; Klerkx *et al.*, 2012). Pour favoriser l'exécution de ce type de processus d'innovation au sein du SAET, il est donc nécessaire que : i) la démarche de conception des modalités de la transition agroécologique de l'agriculture implique dès le départ et fortement les acteurs du SAET et permette l'émergence et la mise en œuvre d'une gestion adaptative ; et ii) des structures de gouvernance adap-

tées soient mises en place dans les filières et dans les territoires pour mettre en œuvre ces modalités de la transition. Duru *et al.* (2013) traitent ces deux points clefs après avoir présenté une méthodologie de conception participative de la transition agroécologique à l'échelle locale.

Conclusion

La profonde modernisation écologique de l'agriculture nécessite de mettre en œuvre à la fois des innovations agronomiques spécifiques aux composantes de la biodiversité locale (cultures, structure des paysages, faune et micro-organismes du sol, par exemple), et de nouveaux modes de coordination et d'apprentissage entre acteurs dans les filières et les territoires. Il s'agit d'un processus d'innovation combinant changements agronomiques, socio-économiques et institutionnels. Les cadres conceptuels existants ne permettant d'illustrer que certaines des facettes du système complexe concerné par ces changements, nous en avons conçu un plus intégrateur afin d'identifier les leviers et cadres de contraintes à considérer. Le fonctionnement de ces systèmes complexes que nous qualifions de « systèmes agroécologiques territorialisés » est déterminé par les interactions entre le système d'acteurs et les ressources matérielles de l'exploitation agricole, du territoire et des filières, ces interactions se faisant par la mise en œuvre de technologies ayant des dimensions cognitives, technologiques ou institutionnelles. Ce cadre conceptuel peut être mobilisé afin d'élaborer une démarche de conception pour penser et mettre en œuvre localement la transition vers un modèle de profonde modernisation écologique de l'agriculture. Cette démarche doit être : i) participative pour impliquer dès le départ et fortement une diversité d'acteurs du SAET ; ii) holistique pour prendre en compte les interactions au sein et entre les différents sous-systèmes du SAET ; iii) transdisciplinaire afin d'intégrer les connaissances entre chercheurs des sciences biotechniques et des sciences sociales et des acteurs du SAET ; et iv) adaptée aux caractéristiques d'une

profonde modernisation de l'agriculture. Cette dernière condition suppose de prendre en compte les spécificités des différentes situations de production, ainsi que l'incomplétude des connaissances, au travers de la conception d'une démarche structurée de gestion adaptative au sein des exploitations, des filières et des territoires de gestion des ressources naturelles. Nous travaillons actuellement au développement d'un cadre méthodologique pour conduire ce type de processus de conception participative. Notre objectif est de développer des méthodes spécifiques permettant d'assurer la crédibilité, pertinence et légitimité des connaissances produites (Cash *et al.*, 2003) et d'éviter les écueils de méthodes reposant sur des modèles scientifiques de simulation, très élaborés mais critiquables pour leur « naïveté contextuelle », ou de méthodes participatives reposant uniquement sur les connaissances des acteurs locaux. Ces dernières ne permettent pas de confronter et articuler état de l'art des connaissances scientifiques et connaissances locales et sont confrontées aux limites cognitives et de capacité d'intégration de l'être humain. L'enjeu est donc d'articuler approches de modélisations et approches participatives pour concevoir des systèmes agroécologiques territorialisés acceptables par toutes les parties prenantes locales y compris non agricoles. ■

Remerciements

Les analyses et propositions exposées dans ce papier ont bénéficié des recherches conduites dans plusieurs projets : i) PSDR « Climfourer » et « Prouesses » financés par l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) et la région Midi-Pyrénées ; ii) « O2LA » (Organismes et Organisations Localement Adaptés ; ANR-09-STRA-08) et MICMAC Design (*Modelling for Integrated Crop Management, Assessment and Cropping system design*) financés par l'Agence nationale pour la recherche (ANR) ; iii) MAELIA (*Multi-agent for Environmental Norms impact Assessment*) financé par le Réseau thématique de recherche avancée Sciences et Technologies pour l'Aéronautique et l'Espace (RTRA STAE) ; (iv) « Cantogether » financé par l'Europe (FP7).

Références

- Altieri M, 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74 : 19-31.
- Anderies JM, Janssen MA, Oström E, 2004. A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective. *Ecology and Society* 9 : art. 18.
- Armitage D, Marschke M, Plummer R, 2008. Adaptive co-management and the paradox of learning. *Global Environmental Change* 18 : 86-98.
- Bonny S, 2011. L'agriculture écologiquement intensive : nature et défis. *Cahiers Agricultures* 20 : 451-62. doi: 10.1684/agr.2011.0526
- Borreani G, Coppa M, Revello-Chion A, Comino L, Giaccone D, Ferlay A, et al., 2013. Effect of different feeding strategies in intensive dairy farming systems on milk fatty acid profiles, and implications on feeding costs in Italy. *Journal of Dairy Science* 96 : 1-16.
- Brewer MJ, Goodell PB, 2010. Approaches and Incentives to Implement Integrated Pest Management that Addresses Regional and Environmental Issues. *Annual Review of Entomology* 57 : 41-59.
- Cash DW, Clark WC, Alcock F, Dickson NM, Eckley N, Guston DH, et al., 2003. Knowledge Systems for Sustainable Development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100 : 8086-91.
- Chevassus-au-Louis B, Génard M, Glaszmann JC, Habib R, Houllier F, Lancelot R, et al., 2009. *L'intégration, art ou science ?* Colloque international Inra-Cirad. « Partnerships, Innovation, Agriculture » Paris.
- Cowan R, Gunby P, 1996. Sprayed to death: path dependence, lock-in and pest control strategies. *Economic Journal* 106 : 521-42.
- Crozier M, Friedberg E, 1977. *L'acteur et le système*. Paris : Le Seuil.
- Darnhofer I, Bellon S, Dedieu B, Milestad R, 2010. Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30 : 545-55.
- David P, Arthur B, 1985. Clio and economics of QWERTY. *American Economic Review* 75 : 337-49.
- Debril T, Therond O, 2012. Les difficultés associées à la gestion quantitative de l'eau et à la mise en œuvre de la réforme des volumes prélevables : le cas du bassin Adour-Garonne. *Agronomie, Environnement & Sociétés* 2 : 127-38.
- Douthwaite B, Manyong VM, Keatinge JDH, Chianu J, 2002. The adoption of alley farming and Mucuna : lessons for research, development and extension. *Agroforestry Systems* 56 : 193-202.
- Drinkwater LE, 2009. Ecological knowledge: foundation for sustainable organic agriculture. In: Francis C. *Organic farming: the ecological system*. Agronomy monograph 54. Madison (Wisconsin, USA) : ASA-CSSA-SSSA.
- Duru M, Fares M, Therond O, 2013. Towards strong ecological modernisation of agriculture: review-based conceptual and methodological frameworks for designing ex ante the agroecological transition. Soumis à *Ecological Economics (deuxième révision)*.
- Eviner VT, Hawkes CV, 2008. Embracing Variability in the Application of Plant-Soil Interactions to the Restoration of Communities and Ecosystems. *Restoration Ecology* 16 : 713-29.
- Fares M, Magrini MB, Triboulet P, 2011. Transition agro-écologique, innovation et effets de verrouillage : le rôle de la structure organisationnelle des filières. Le cas de la filière blé dur française. *Cahiers Agriculture* 21 : 34-45. doi: 10.1684/agr.2012.0539
- Folke C, Carpenter S, Elmqvist T, Gunderson L, Holling CS, Walker B, 2002. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *Ambio* 31 : 437-40.
- Folke C, 2006. Resiliencé: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16 : 253-67.
- Folke C, Jansson Å, Rockström J, Olsson P, Carpenter SR, Chapin FS, et al., 2011. Reconnecting to the Biosphere. *Ambio* 40 : 719-38.
- Francis C, Porter P, 2011. Ecology in Sustainable Agriculture Practices and Systems. *Critical Reviews in Plant Sciences* 30 : 64-73.
- Galloway JN, Trends R, Galloway JN, Townsend AR, Erisman JW, Bekunda M, et al., 2008. Transformation of the Nitrogen Cycle: Potential Solutions. *Science* 320 : 889-92.
- Geels F, 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy* 31 : 1257-74.
- Geels F, 2005. *Technological Transitions and System Innovations: A co-evolutionary and Socio-Technical Analysis*. Chetelham (UK) : Edward Elgar Publishing.
- Griffon M, 2007. Pour des agricultures écologiquement intensives. ESA Angers. In : *Les défis de l'agriculture au XXIe siècle. Leçons inaugurales du Groupe ESA*. Angers, groupe ESA.
- Hendrickson JR, Hanson JD, Tanaka DL, Sassenrath GF, 2008. Principles of integrated agricultural systems: introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23 : 265-71.
- Hochman Z, Carberry PS, Robertson MJ, Gaydon DS, Bell LW, McIntosh PC, 2013. Prospects for ecological intensification of Australian agriculture. *European Journal of Agronomy* 44 : 109-23.
- Horlings LG, Marsden TK, 2011. Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could "feed the world.". *Global Environmental Change* 21 : 441-52.
- Holling CS, 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems* 4 : 390-405.
- Ingram J, 2008. Agronomist-farmer knowledge encounters: an analysis of knowledge exchange in the context of best management practices in England. *Agriculture and Human Values* 25 : 405-18.
- Jiggins J, Roling N, 2000. Adaptive management: potential and limitations for ecological governance. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology* 1 : 28-42.
- Kassam A, Friedrich T, Derpsch R, Lahmar R, Mrabet R, Basch G, et al., 2012. Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. *Field Crops Research* 132 : 7-17.
- Klerx L, Leeuwis C, 2008. Balancing multiple interests: Embedding innovation intermediation in the agricultural knowledge infrastructure. *Technovation* 28 : 364-78.
- Klerx L, Van Mierlo B, Leeuwis C, 2012. Evolution of systems approaches to agricultural innovation: Concepts, analysis and interventions. In : Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B, eds. *Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic*. Dordrecht : Springer.
- Knickel K, Brunori G, Rand S, 2009. Towards a Better Conceptual Framework for Innovation Processes in Agriculture and Rural Development : From Linear Models to Systemic Approaches. *Journal of Agricultural Education and Extension* 15 : 37-41.
- Koohafkan P, Altieri M, Gimenez EH, 2011. Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability* 10 : 1-13.
- Kremen C, Alastair I, Bacon C, 2012. Diversified farming systems : An agroecological systems-based. *Ecological and Society* 17 : art. 4.
- Kuisma M, Kahiluoto H, Havukainen J, Lehtonen E, Luoranen M, Myllymaa T, et al., 2012. Understanding biorefining efficiency - The case of agrifood waste. *Bioresource Technology* 135 : 588-97.
- Lamine C, 2011. Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM. *Journal of Rural Studies* 27 : 209-19.
- Le Roux R, Barbault J, Baudry J, Burel F, Doussan I, Garnier E, et al., eds, 2008. *Agriculture et biodiversité, valoriser les synergies*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, Inra. <http://www6.paris.inra.fr/depe/Projets/Agriculture-et-biodiversite>
- Médiène S, Valantin-morison M, Sarthou JP, 2011. Agroecosystem management and biotic interactions : a review. *Agronomy for Sustainable Development* 31 : 491-514.
- Meynard JM, 2013. Innovation in cropping and farming systems. In : Coudel E, Devautour H, Soulard C, Faure G, Hubert B, eds. *Renewing innovation systems in agriculture and food*. Wageningen (The Netherlands) : Wageningen Academic Publisher.
- Meynard JM, Dedieu B, Bos B, 2012. Re-design and co-design of farming systems: An overview of methods and practices. In : Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B, eds. *Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic*. Dordrecht : Springer.
- Meynard JM, Messéan A, Charlier A, Charrier F, Fares M, Le Bail M, et al., 2013. *Freins et leviers à la diversification des cultures. Étude au niveau des exploitations agricoles et des filières*. Synthèse du rapport d'étude. Paris : Inra.
- Moore KM, 2011. Global networks in local agriculture: a framework for negotiation. *Journal of Agricultural & Food Information* 12 : 23-39.
- Newig J, Haberl H, Pahl-Wostl C, Rotman DS, 2008. Formalise and Non-Formalised Methods in Resource Management – Knowledge and Social Learning in Participatory Processes: An Introduction. *Systemic Practice and Action Research* 21 : 381-7.
- Oström E, 2009. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science* 325 : 419-22.

- Oström E, 2005. *Understanding Institutional Diversity*. Princeton : Princeton University Press.
- Pahl-Wostl C, Hare M, 2004. Processes of Social Learning in Integrated resources Management. *Journal of Community & Applied Social Psychology* 14 : 193-206.
- Pahl-Wostl C, 2007. Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. *Water Resources Management* 21 : 49-62.
- Pahl-Wostl C, 2009. A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change* 19 : 354-65.
- Pahl-Wostl C, Holtz G, Kastens B, Knieper C, 2010. Analyzing complex water governance regimes: the Management and Transition Framework. *Environmental Science & Policy* 13 : 571-81.
- Pretty J, 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 363 : 447-65.
- Power AG, 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 365 : 2959-71.
- Rains GC, Olson DM, Lewis WJ, 2011. Redirecting technology to support sustainable farm management practices. *Agricultural Systems* 104 : 365-70.
- Scherr SJ, McNeely JA, 2008. Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of "ecoagriculture" landscapes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 363 : 477-94.
- Schiere JB, Darnhofer I, Duru M, 2012. Dynamics in farming systems: Of changes and choices. In : Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B, eds. *Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic*. Dordrecht : Springer.
- Shennan C, 2008. Biotic interactions, ecological knowledge and agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 363 : 717-39.
- Sibertin-Blanc C, Therond O, Monteil C, Mazzega P, 2011. *Formal modeling of social-ecological systems*. Proceedings of the 7th European Social Simulation Association Conference, 19-23 September, Montpellier, in press.
- Singh JS, Pandey VC, Singh DP, 2011. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140 : 339-53.
- Smith A, Stirling A, 2010. The politics of social-ecological resilience and sustainable socio-technical transitions. *Ecology and Society* 15 : art. 11.
- Souchère V, Millair L, Echeverria J, Le Page C, Etienne M, 2010. Environmental Modelling & Software Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale. *Environmental Modeling & Assessment* 25 : 1359-70.
- Ten Napel J, van der Veen AA, Oosting SJ, Koerkamp PWGG, 2011. A conceptual approach to design livestock production systems for robustness to enhance sustainability. *Livestock Science* 139 : 150-60.
- Toderi M, Powell N, Seddaiu G, Roggero P, Gibbon D, 2007. Combining social learning with agro-ecological research practice for more effective management of nitrate pollution. *Environmental Science & Policy* 10 : 551-63.
- Vanclay F, 2004. Social principles for agricultural extension to assist in the promotion of natural resource management. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44 : 213-23.
- 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 : 436-46.
- Vanloqueren G, Baret P, 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agro-ecological innovations. *Research Policy* 38 : 971-83.
- Walker B, Meyers JA, 2004. Thresholds in Ecological and Social – Ecological Systems : a Developing Database. *Ecology And Society* 9 : art. 3.
- Walker B, Gunderson L, Kinzig A, Folke C, Carpenter S, Schultz L, 2006. A Handful of heuristics and some propositions for understanding resilience in social-ecological systems. *Ecology and Society* 11 : 15 p.
- Warner KD, 2008. Agroecology as participatory science emerging alternatives to technology transfer extension practice. *Science Technology & Human Values* 33 : 754-77.
- Williams BK, 2011. Adaptive management of natural resources-framework and issues. *Journal of Environmental Management* 92 : 1346-53.
- Williamson O, 2002. The Theory of the Firm as Governance Structure: From Choice to Contract. *Journal of Economic Perspectives* 16 : 171-95.