

Elsa Berthet, *Concevoir l'écosystème, un nouveau défi pour l'agriculture*, Paris, Presses des MINES, collection Sciences de la Conception, 2014.

© Presses des MINES – TRANSVALOR

60, boulevard Saint-Michel – 75272 Paris cedex 06 – France

presses@mines-paristech.fr

www.pressesdesmines.com

© Image de couverture: Corentin Echivard

ISBN: 978-2-35671-143-4

Dépôt légal 2014

Achevé d'imprimer en 2014 – Paris

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

Concevoir l'écosystème,
un nouveau défi
pour l'agriculture

Collection Sciences de la Conception
Dans la même collection

- Marine Agogué, Sophie Hooge, Frédéric Arnoux, Ingi Brown, *An Introduction to Innovative Design*.

Concevoir l'écosystème, un nouveau défi pour l'agriculture

Elsa Berthet



À Fabien et Swann

Remerciements

Cet ouvrage est issu d'une thèse soutenue en 2013 à Mines ParisTech et financée par l'INRA.

Je tiens à adresser mes plus profonds remerciements à Blanche Segrestin qui m'a guidée avec talent et enthousiasme dans ce travail. Je remercie Egizio Valceschini sans qui cette recherche n'aurait pas eu lieu, ainsi que Vincent Bretagnolle qui m'a permis de mener un travail empirique fructueux.

Je remercie très chaleureusement l'ensemble des chercheurs et doctorants de SADAPT, du CEBC et du CGS, en particulier Benoit Weil et Pascal Le Masson.

Je remercie Eric Guilbot et Jacques Trouvat de la coopérative CEA pour leur collaboration.

Enfin un immense merci à Fabien, à ma famille et à mes amis.

Préface

B. Segrestin

Mieux on comprend les écosystèmes naturels et leurs mécanismes de régulation, plus une réforme en profondeur des systèmes agricoles apparaît critique. Le progrès des connaissances en écologie impose de repenser les techniques agricoles, les organisations de recherche sur le monde agricole, voire la manière dont les territoires agricoles sont gouvernés. Les enjeux économiques et environnementaux sont considérables ; les défis pour les sciences sociales, et en particulier pour les sciences de gestion, ne sont pas moindres. Car renouveler le schéma socio-économique de l'agriculture suppose non seulement que les différentes parties puissent s'accorder sur un schéma alternatif, mais aussi que l'on dispose de principes techniques et organisationnels adéquats. Or ces alternatives font encore défaut : les phénomènes en cause sont en effet complexes et incertains. Et si de nombreuses voies ont été expérimentées – depuis la préservation des espèces menacées jusqu'à la création de marchés des services naturels (les « services écosystémiques ») – aucune n'est encore apparue à ce jour satisfaisante ou suffisante.

Dès lors, sur quelles bases engager une telle réflexion ?

Elsa Berthet s'attaque à cette question en tirant parti de sa double compétence en agronomie et en sciences de gestion. Recrutée par l'INRA pour mener une thèse de doctorat en sciences de gestion¹, Elsa Berthet a conduit un travail de recherche original à Mines ParisTech au sein de la Chaire Théorie et Méthodes de la Conception Innovante (TMCI). Le présent ouvrage en est issu : Elsa Berthet y sonde les possibilités d'une réconciliation entre agriculture et écologie en étudiant les raisonnements par lesquels sont pensés, décrits et instrumentés les écosystèmes : comment les écologues ont-ils modélisé les écosystèmes ? Et quels sont les objets qu'ils ont introduits au fur et à mesure pour rendre compte des phénomènes qu'ils cherchaient à décrire ? En retraçant l'émergence par exemple de l'écologie du paysage, Elsa Berthet

¹ *Contribution à une théorie de la conception des agro-écosystèmes. Fonds écologique et inconnu commun*, Berthet 2013, sous la direction d'Egizio Valceschini, Directeur de recherches, à INRA et de moi-même, professeur à Mines ParisTech.

nous éclaire sur l'aventure scientifique qui a conduit ces dernières décennies à une meilleure compréhension des phénomènes de régulation écologique. Elle dégage surtout une piste nouvelle : les solutions concrètes pour concilier agriculture et environnement manquent encore malgré l'amélioration des modèles écosystémiques. On peut certes l'attribuer à la complexité ou à l'impossibilité d'agrèger dans ces modèles les préférences des parties prenantes. Mais l'analyse d'Elsa Berthet souligne au contraire un caractère insoupçonné des objets introduits par les scientifiques : ces objets (comme par exemple une « métapopulation », un « paysage » ou encore la « prairie... ») ne sont pas seulement le champ de régulations complexes et évolutives. Ils sont aussi en partie indéterminés en ce sens qu'ils restent largement à concevoir. Ce sont donc des espaces pour la conception. Cette caractéristique est généralement négligée alors qu'elle ouvre un champ des possibles, tant en termes de finalités que de coordination des actions de gestion, bien plus large.

Pour Elsa Berthet, les écosystèmes naturels ou anthropisés, sont avant tout des « fonds », au sens de Georgescu-Roegen (Georgescu-Roegen, 1971), dans la mesure où ils sont susceptibles de générer des flux variés, de matière ou d'énergie. Mais les services écosystémiques ne sont pas stabilisés ni préétablis. Et les fonds écologiques sont à la fois mobilisés, entretenus mais aussi parfois endommagés par l'agriculture. En tenant ces fonds comme naturels ou comme donnés, on se condamne alors à des choix entre des alternatives connues : rendement versus biodiversité, intensité agricole versus population d'insectes, etc. Faute d'explorer leurs potentiels, on se prive alors de la possibilité d'une reconception collective et collaborative aussi bien des formes que des usages des agro-écosystèmes. L'ouvrage s'appuie sur les avancées les plus récentes des théories de la conception, pour proposer de considérer les écosystèmes comme des fonds en partie inconnus, qui nécessitent un processus collectif de conception. Et il suggère de passer, en d'autres termes, d'une politique écologique de conservation à une politique écologique de conception.

Elsa Berthet mobilise ici les théories et les méthodes de la conception sur un cas et dans une perspective originale. Son ouvrage ouvre des pistes nouvelles qui devraient s'avérer très fécondes tant pour les agriculteurs, que pour les écologues et les agronomes. Parions qu'il suscite également un regain d'intérêt des sciences de gestion sur ces problématiques écologiques et agricoles. D'ores et déjà, il augure un renouvellement du champ en sciences de gestion qu'on ne peut qu'encourager.

L'agriculture à l'épreuve de l'environnement

L'agriculture désigne l'ensemble des activités de transformation du milieu naturel permettant d'obtenir des produits végétaux et animaux utiles à l'homme, en particulier destinés à son alimentation. Ces activités ont fait l'objet, depuis près de 12 000 ans, de nombreuses innovations à la fois techniques et organisationnelles, et l'agriculture est aujourd'hui un secteur hautement productif, tout au moins dans les pays industrialisés. Au cours des dernières décennies, ce secteur a cependant été l'objet de fortes préoccupations environnementales. Son rôle dans la pollution et la dégradation des milieux naturels, sa contribution au changement climatique ou encore à la surexploitation des ressources naturelles sont connus et, souvent, stigmatisés. Face à cette situation, les enjeux pour la recherche sont considérables. Cet ouvrage participe aux réflexions sur les causes de cette crise environnementale de l'agriculture et contribue à l'explication des difficultés rencontrées aujourd'hui pour y remédier. Il cherche, surtout, à proposer des pistes pour relever les défis d'innovation que cette crise environnementale génère.

Notre ligne directrice est une nouvelle interprétation de la crise environnementale de l'agriculture. Cette crise est notamment une crise des savoirs sur les processus écologiques affectés par la production agricole. Elle est aussi une crise de l'innovation, liée non seulement à la grande complexité de ces processus, mais également à la nature des biens communs que ces processus mettent en jeu au sein des agro-écosystèmes (*i.e.* écosystèmes cultivés²). Notre hypothèse est que l'on n'accorde pas suffisamment d'importance aux processus de conception spécifiques aux agro-écosystèmes et que l'on est toujours peu outillé pour le faire. Notre ambition est donc d'élaborer, et de mettre à l'épreuve d'une « situation réelle » (un cas empirique), un cadre conceptuel pour la conception d'un agro-écosystème.

² Un écosystème artificialisé par un groupe humain qui y cultive des plantes et/ou y élève des animaux domestiques. Il est composé d'un milieu physique plus ou moins transformé (épierrement, amendement, terrassement, drainage...) et d'un milieu vivant modifié (réduction de la végétation et de la faune sauvage, introduction de plantes cultivées et d'animaux domestiques) (Larousse Agricole 2002)

La crise environnementale de l'agriculture

UN MODÈLE AGRICOLE INSOUTENABLE

Les impacts de la modernisation agricole sur les écosystèmes

L'agriculture a connu au cours du XX^e siècle une modernisation rapide et une hausse de la productivité extrêmement forte, tout au moins dans les pays industrialisés et dans une partie des pays émergents. On parle d'industrialisation de l'agriculture : d'une part la modernisation de la production agricole s'est essentiellement basée sur la mécanisation et la «chimisation» (utilisation croissante d'engrais et de produits phytosanitaires³ chimiques). D'autre part ce secteur a mis en place une division verticale de ses activités, avec des industries amont fournissant des intrants agricoles et des industries aval prenant en charge la transformation et la distribution des produits agro-alimentaires. À l'échelle mondiale, les conséquences de cette modernisation ont été notamment la multiplication par dix des rendements de la production céréalière et des superficies cultivées par exploitant, une forte augmentation de la production de l'élevage⁴, et une multiplication par plus de cent de la productivité brute du travail agricole (Mazoyer and Roudart 2002). Selon Pretty (2008), la production alimentaire mondiale a augmenté de 145 % depuis les années 1960, et notamment de 280 % en Asie.

L'agriculture (productions végétales et pâturages) occupe 38 % de la surface émergée de la planète et constitue en cela l'usage des terres le plus important avec la forêt ; le reste étant constitué de déserts, montagnes, toundra, villes, réserves écologiques, etc. (Foley *et al.* 2011). La modernisation agricole a eu de nombreux impacts sur l'environnement, contribuant largement à la

3 Relatif à la protection des cultures et des produits récoltés. (*Larousse Agricole* 2002).

4 Selon Pretty (2008) : multiplication par quatre du nombre de poulets, par deux du nombre de porcs, tandis que la production de bovins, ovins et caprins a augmenté de 40 à 50% à l'échelle mondiale.

dégradation des écosystèmes observée au niveau mondial depuis plusieurs décennies. Aujourd'hui, l'ensemble des écosystèmes de la planète est touché de près ou de loin par les activités humaines : exploitation intensive des ressources, pâturage, chasse ou pêche, fragmentation des paysages liée aux infrastructures, ou encore émissions de gaz à effet de serre accélérant le changement climatique (Vitousek *et al.* 1997). La crise des écosystèmes est tangible à travers six grands types de dégradations liées aux activités agricoles : la dégradation des sols, la consommation en eau, la dépendance aux énergies non renouvelables, les pollutions diffuses, les émissions de gaz à effet de serre et enfin l'érosion de la biodiversité.

Les pratiques agricoles ont entraîné une forte diminution de la fertilité des sols due à un appauvrissement en nutriments (Altieri *et al.* 1983), et à la dégradation physique des sols. À cette perte de fertilité s'ajoute une perte des terres cultivées liée au développement urbain et au changement climatique. À titre d'exemple, cette perte correspondait en France à environ 100 000 ha/an dans les années 1990 (Boulaine 1996). Par ailleurs, les surfaces agricoles irriguées ont doublé en 50 ans, et aujourd'hui 70% des prélèvements en eau douce de la planète sont destinés à l'agriculture (Foley *et al.* 2011).

D'un rôle de producteur d'énergie au XIXe siècle, l'agriculture est devenue à partir de la fin des années 1980 un grand consommateur d'énergie produite par l'industrie ou venant des énergies fossiles (Boulaine 1996). La forte dépendance de cette activité aux énergies non renouvelables est liée à la mécanisation ainsi qu'à l'emploi massif d'engrais et de produits phytosanitaires de synthèse (Altieri *et al.* 1983). La surutilisation des produits de synthèse conduit à des pollutions diffuses : 30 à 80% de l'azote épandu sur les terres agricoles contamine les systèmes hydrologiques et l'atmosphère (Pretty 2008). Les pollutions sont accentuées par le fait que les fertilisants et produits phytosanitaires se dégradent très lentement et s'accumulent dans les sols et les nappes phréatiques. Cette accumulation contribue à déréguler les cycles biogéochimiques de nutriments tels que l'azote et le phosphore.

Enfin, l'agriculture a de forts impacts sur la biodiversité à la fois génétique, spécifique et écosystémique. Les ressources génétiques ont diminué pour ce qui concerne les plantes cultivées et les races animales élevées (Altieri *et al.* 1983 ; Labatut 2009), puisque la sélection génétique a eu tendance à n'en

favoriser qu'un faible nombre. La diversité spécifique est largement altérée par l'agriculture, que les espèces soient inféodées aux milieux agricoles ou non. En effet, celles qui se sont adaptées depuis des milliers d'années aux espaces cultivés sont grandement affectées par l'intensification rapide des pratiques agricoles à l'œuvre depuis les années 1960 (Donald *et al.* 2001 ; Kleijn *et al.* 2006). Celles vivant dans d'autres milieux sont touchées par l'extension des terres agricoles, notamment dans les zones tropicales. L'agriculture a globalement converti en cultures 70 % des prairies, 50 % des savanes, 45 % des forêts tempérées et 27 % des forêts tropicales (Foley *et al.* 2011). Enfin, selon le Millenium Ecosystem Assessment (2005), 10 à 30 % des espèces de mammifères, d'oiseaux et d'amphibiens sont actuellement menacées de disparition.

Les dégradations ne sont plus justifiées par des hausses de rendement

Alors que les problèmes liés à ces dégradations environnementales sont identifiés depuis les années 1970, la crise devient particulièrement préoccupante. Contrairement à ce que montre la période des années 1960 à 1980, on observe maintenant que les dégradations de l'environnement ne sont plus contrebalancées par une forte augmentation des rendements agricoles permettant de nourrir une population mondiale en très forte croissance. Les rendements semblent plafonner, tandis que les dégradations s'accroissent. Entre 1985 et 2005, l'augmentation des rendements était de l'ordre de 25 %, contre près de 60 % entre 1965 et 1985 (Foley *et al.* 2011). Dans certains pays européens, notamment en France, les rendements en céréales stagnent depuis la fin des années 1990. Si l'agriculture est en partie responsable des problèmes liés à la dégradation des écosystèmes, elle en subit aujourd'hui en retour les conséquences (FAO 2007)⁵ par la dégradation ou la raréfaction de certaines ressources qui lui sont indispensables.

Le modèle agricole actuel semble avoir atteint ses limites d'efficacité. Plusieurs études récentes (FAO 2007 ; IAASTD 2009) estiment pourtant qu'il serait nécessaire de doubler la production mondiale pour répondre à l'augmentation démographique, aux changements de régimes alimentaires (notamment à l'augmentation de la consommation de viande dans les pays émergents), ou encore à la demande en bioénergies. L'usage des terres et

5 FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.

les modes de mise en valeur ont certes permis de nourrir une population croissante, mais ils l'ont fait au prix de la dégradation de l'environnement et d'une surexploitation des ressources naturelles. L'enjeu à venir est donc de poursuivre la production alimentaire et/ou énergétique sur des espaces où devront être préservés les autres services écosystémiques fournis (biodiversité, stockage du carbone, qualité des sols et de l'eau, etc.).

Savoir comment gérer en cohérence des objectifs en partie contradictoires est, par conséquent, un des enjeux essentiels de l'avenir. Sur la base des expériences passées et des évolutions prévisibles dans le domaine technique mais aussi socio-économique, comment le monde peut-il concilier la contradiction apparente entre l'objectif d'augmenter significativement l'effort productif et la nécessité de le faire sans causer d'autres effets négatifs sur la qualité des terres et la biodiversité?

Des réponses multiples, un impact limité

Diverses solutions ont déjà été envisagées pour concilier production agricole et préservation de l'environnement. Des modèles de production agricole alternatifs émergent en opposition au modèle dit «conventionnel» (*i.e.* intensif en intrants et en énergie). Pretty (2008) en cite un certain nombre :

“Many different expressions have come to be used to imply greater sustainability in some agricultural systems over prevailing ones (both preindustrial and industrialized). These include biodynamic, community based, ecoagriculture, ecological, environmentally sensitive, extensive, farm fresh, free range, low input, organic, permaculture, sustainable and wise use” (Pretty (2008), p. 451).

L'agriculture biologique interdit l'utilisation d'intrants chimiques et d'organismes génétiquement modifiés (OGM), et tente de restaurer des cycles écologiques jusqu'alors substitués par la technologie. Ce modèle dispose d'un label permettant de reconnaître et valoriser ces pratiques. L'agriculture de conservation est un autre modèle de production qui n'exclut pas complètement les intrants chimiques mais vise à en réduire l'utilisation, et qui porte l'essentiel de son attention sur la préservation des sols (par le non-labour, les couverts végétaux, etc.). Ces modèles alternatifs ont été développés d'abord empiriquement, souvent en opposition à la

recherche agronomique. Chacun met l'accent sur des enjeux plus ou moins ciblés et ouvre dans ce cadre de nouvelles voies d'action ; mais aucun n'est en mesure de répondre à l'ensemble des dégradations d'un écosystème.

La recherche agronomique propose de nouveaux concepts, comme celui de l'« agriculture écologiquement intensive » (Griffon 2013). Le principe est d'amplifier l'usage des fonctionnalités écologiques pour maintenir un haut niveau de production agricole et d'élevage, sans exclure les intrants chimiques ou les OGM. De tels concepts fournissent de nouveaux agendas de recherche. Des feuilles de route sont proposées par les scientifiques et les institutions internationales pour concilier production agricole et préservation de l'environnement (*e.g.* Pretty (2008) ; Fischer *et al.* (2006) ; Foley *et al.* (2005) ; FAO (2007) ; MEA (2005)).

Du côté des politiques publiques, divers instruments ont été mis en œuvre. En Europe, la Politique Agricole Commune (PAC) a mis en place depuis 2005 la conditionnalité des aides aux agriculteurs : le versement de certaines aides communautaires est soumis au respect d'exigences de base en matière d'environnement, de « bonnes conditions agricoles et environnementales » (BCAE), de santé, et de protection animale (Source : Ministère de l'Agriculture⁶). Des outils contractuels ont également été développés, tels que les Mesures Agro-Environnementales⁷ (MAE). Un certain nombre de réglementations cherchent à restreindre les pratiques agricoles dégradant l'environnement et à encourager des pratiques alternatives, par exemple au niveau Européen la Directive Cadre sur l'Eau, ou les Directives Oiseaux et Habitats à l'origine de la mise en place du réseau d'aires protégées Natura 2000. Au niveau international, dans les pays industrialisés, dans les pays émergents et dans les pays en voie de développement, les politiques en faveur des services écosystémiques telles que les paiements pour services environnementaux ont la faveur des États, souvent en coopération avec des organisations environnementales⁸.

6 <http://agriculture.gouv.fr/la-conditionnalite>, consulté en juin 2013.

7 Ce sont des contrats de cinq ans par lesquels les agriculteurs s'engagent à mettre en œuvre des pratiques agricoles respectueuses de l'environnement contre une subvention annuelle destinée à couvrir les coûts induits et les éventuelles diminutions de revenus.

8 Voir les résultats du programme ANR SERENA (2009-2013).

Les actions publiques en faveur de la préservation de biens communs environnementaux ont généré et se sont appuyées sur des innovations réglementaires et juridiques, organisationnelles et scientifiques. Cependant, elles rencontrent des difficultés à trois niveaux : (i) celui de l'objet dont elles souhaitent préserver ou améliorer l'état en influençant les pratiques agricoles : il s'agit le plus souvent d'une ressource en particulier (l'eau, la forêt, une espèce animale, etc.) qui est individualisée dans l'écosystème, et *a fortiori* dans l'agro-écosystème ; (ii) celui de leurs dispositifs d'action : la contractualisation incitative individuelle est l'outil de gestion privilégié, l'action collective lui est subordonnée ou en est déconnectée ; (iii) celui de l'évaluation de leur pertinence : il est difficile de mesurer leur impact et leur efficacité environnementale et, surtout, il est quasiment impossible de relier les performances environnementales aux actions individuelles soutenues, ce qui pose un important problème par rapport au dispositif d'action. Ces difficultés n'invalident pas l'intérêt de ces dispositifs et des politiques publiques associées. Elles nous invitent à mieux comprendre quelles sont les causes des problèmes environnementaux liés à l'agriculture et quelles peuvent être les voies pour les dépasser. Pour notre part, nous cherchons en priorité à identifier et à analyser les voies qui ont trait à un problème de conception.

Malgré toutes ces initiatives, l'impact sur l'environnement reste alarmant et, surtout, le basculement vers un nouveau modèle agricole ne semble pas fondamentalement engagé. Comment permettre à l'agriculture de changer de modèle en s'appuyant sur une nouvelle génération d'innovations ? Et sur quels objets doivent porter ces innovations ?

HYPOTHÈSES ET QUESTIONS

Mettre au cœur de la problématique la gestion des écosystèmes est une des hypothèses fortes relevées dans les diagnostics ou scénarios de la crise environnementale de l'agriculture. Ils soulignent en effet que :

- Les solutions proposées sont trop ponctuelles et déconnectées les unes des autres, alors que tout est interdépendant dans les systèmes écologiques. Les scientifiques insistent sur la nécessité d'agir à des échelles variées, allant du local au global (Foley *et al.* 2005). Ils proposent

notamment d'agir à l'échelle des écosystèmes, de manière à prendre en compte les problématiques écologiques de façon plus intégrée. Ainsi, Vitousek (1997) souligne : « *Although conservation efforts focused on individual endangered species have yielded some successes, they are expensive – and the protection or restoration of whole ecosystems often represents the most effective way to sustain genetic, population, and species diversity.* »

- Le manque de connaissance sur le fonctionnement des systèmes écologiques est un frein au développement de solutions adaptées (Daily 1997 ; Kremen and Ostfeld 2005 ; Bennett *et al.* 2009).
- La prise en compte et la gestion de processus écologiques (eau, biodiversité) ne peut se faire à l'échelle de la parcelle ni de l'exploitation et requiert une coordination à plus large échelle. Or, la mise en œuvre de solutions aux problèmes environnementaux engendre souvent des situations conflictuelles (Pinton 2007) que les instruments d'incitation ne parviennent généralement pas à surmonter, ce qui empêche la mise en place de solutions vraiment efficaces (Kleijn *et al.* 2006).

Dans cette perspective, une difficulté majeure pour remédier à la crise environnementale est d'améliorer la gestion des écosystèmes de manière à continuer de produire tout en ne remettant pas en cause leur durabilité. Ce défi demande de nouveaux efforts d'innovation (Vanloqueren and Baret 2009). L'identité-même des objets à concevoir et à gérer est instable, qu'il s'agisse d'outils, de variétés à cultiver ou de races animales, de systèmes de production, de systèmes écologiques, etc. Les connaissances manquent, les solutions à la fois efficaces et acceptables pour remédier à cette crise environnementale complexe sont extrêmement difficiles à trouver. De plus, la gestion des écosystèmes nécessite d'amener des acteurs qui souvent ont des intérêts divergents vis-à-vis des écosystèmes à agir ensemble. Il faut alors inventer de nouvelles méthodes et de nouveaux modes de gouvernance pour les conduire à se coordonner et à innover ensemble.

Cet ouvrage recherche part du constat que la prise en compte des écosystèmes soulève des problèmes de gestion de l'innovation nouveaux pour le secteur agricole. Elle ne vise pas à proposer un modèle alternatif de production agricole, ni à élaborer de nouveaux instruments politiques ou économiques d'incitation, mais à proposer un nouveau cadre conceptuel permettant de faciliter l'action et plus précisément de soutenir l'innovation. En particulier, elle propose de passer d'une problématique de prise en

compte des écosystèmes à une problématique de conception des agro-écosystèmes.

L'agro-écosystème est un objet original du point de vue de sa conception car on ne peut le concevoir et prédire son évolution que partiellement, par contraste avec un objet totalement artificiel. En tant que système de production, il est à concevoir et à gérer, mais en tant qu'écosystème il est doté d'un fonctionnement et de régulations propres, en partie inconnues. Parmi les connaissances nécessaires à la conception d'un agro-écosystème, celles produites par l'écologie sont essentielles car elles visent à comprendre les mécanismes de régulation des écosystèmes. De plus les agro-écosystèmes sont des objets pour lesquels il n'y a pas un concepteur ni un évaluateur donné ni légitime au départ. La prise en compte et la gestion de processus écologiques (*e.g.* préservation de la qualité de l'eau, maintien de la biodiversité) ne peut se faire qu'à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation, et requiert une coordination à plus large échelle. Or cette gestion du fonctionnement écosystémique ne relève pas de compétences d'acteurs territoriaux existants. Cette recherche s'intéresse donc à l'émergence de nouvelles formes d'actions collectives à l'échelle du territoire visant à renouveler la conception et la gestion des agro-écosystèmes.

Nous souhaitons instruire et répondre à deux grandes séries de questions. La première concerne la conception des agro-écosystèmes : comment concevoir un agro-écosystème et qu'est-ce que le concevoir ? Sur quoi doit porter la conception ? Quels sont les raisonnements à mener et les connaissances nécessaires ? La seconde porte sur les conditions et les modalités de la conception d'un agro-écosystème : quels peuvent être les méthodes et outils de conception et de gestion adaptés ? Quels critères d'évaluation développer ? Comment organiser l'action collective, quels modes de gouvernance sont appropriés ?

Faire converger l'agronomie et l'écologie

LES THÉORIES DE LA CONCEPTION

Cet ouvrage s'intéresse aux raisonnements des acteurs en charge de la production de connaissances sur les écosystèmes et de la conception des systèmes de production agricole. Il prend en compte également leurs interactions, de manière à éclairer les nouveaux enjeux d'action collective pour soutenir l'innovation dans ce domaine. Plus spécifiquement, il applique les théories de la conception à une analyse de la combinaison potentielle de connaissances en écologie et en agronomie pour l'action. L'agronomie est une discipline relevant de l'ingénierie et de la conception d'objets variés : des organismes aux systèmes de production en passant par divers outils pour les professionnels agricoles. L'écologie, elle, est une discipline visant plutôt à comprendre le fonctionnement des systèmes complexes du vivant. Nous interrogeons la possibilité de combiner ces deux disciplines pour identifier de nouvelles solutions visant à surmonter la crise environnementale de l'agriculture.

Les théories de la conception constituent un champ de recherche en plein essor et qui est actuellement en phase de refondation et d'autonomisation (Le Masson *et al.* 2013). Ce champ a pour objectif de définir, spécifier et étudier les raisonnements de conception en les comparant notamment à d'autres types de raisonnements tels que la décision, l'optimisation, la modélisation, la production de connaissances, etc. Selon Hatchuel (2002), la spécificité de la conception est de générer des objets qui n'existaient pas initialement et de garantir au maximum leur existence. Les théories de la conception cherchent à développer un langage adapté à ce type de raisonnement complexe. Elles cherchent donc à rendre compte de la «générativité» (ou capacité de génération d'objets nouveaux) de la conception (Hatchuel *et al.* 2011).

Les théories de la conception s'intéressent en particulier aux nouveaux objets à concevoir ainsi qu'aux types de connaissances et aux méthodes de production de connaissances nécessaires aux processus de conception. Plus généralement, les théories de la conception cherchent à soutenir de nouvelles formes d'action collective, dans des champs économiques ou professionnels variés confrontés à de forts besoins d'innovation (santé, environnement, nouvelles mobilités, nouvelles formes de solidarité, etc.). Elles contribuent à favoriser l'émergence de nouvelles méthodes et de formes de collaboration originales, au sein des organisations ou entre elles, et ceci en dialoguant avec d'autres disciplines telles que les sciences de gestion et les sciences de l'ingénieur (Le Masson *et al.* 2013).

Les travaux sur la conception traitent encore peu aujourd'hui des problématiques agricoles et environnementales. Ces problématiques ouvrent pourtant de nouvelles perspectives à ces disciplines. Les agro-écosystèmes soulèvent des questions nouvelles en termes de conception, en raison de leur caractère à la fois vivant et conçu. La conception nous intéresse d'autant plus que nous pensons qu'elle peut permettre de résoudre des situations de blocage de l'innovation voire de conflit, et peut justement tirer parti des différents points de vue et intérêts pour développer des solutions innovantes.

Notre analyse concerne essentiellement les agro-écosystèmes de grandes cultures (céréales et oléo-protéagineux) en France, particulièrement représentatifs du modèle agricole intensif, et largement touchés par les problématiques environnementales exposées précédemment (dégradation des sols, des ressources en eau, de la biodiversité, etc.). De plus la grande culture⁹ est le type de production dominant en France, notamment par son emprise au sol. Elle occupe près de 15 millions d'hectares, soit plus de la moitié de la superficie agricole utilisée en France métropolitaine, et concerne près des deux tiers des exploitations agricoles. Les enjeux d'innovation sont donc particulièrement importants pour les acteurs de ce secteur. Pour les comprendre, nous avons choisi d'analyser en profondeur un cas archétypique de l'agriculture intensive dans lequel un ensemble d'acteurs (économiques et scientifiques) s'investissent collectivement pour engager un processus de conception qui permettrait de concilier production agricole et préservation de l'environnement.

9 La grande culture comprend les céréales, oléagineux (colza), protéagineux (pois), et quelques légumes (pomme de terre), qui sont cultivés sur de vastes étendues

Parmi les théories de la conception, nous mobilisons la théorie C-K (*Concept-Knowledge*) (Hatchuel and Weil 2003; Hatchuel and Weil 2009), une théorie récente et suffisamment générale et abstraite pour s'appliquer à des domaines variés, qui permet de modéliser les raisonnements de conception. La proposition centrale de la théorie C-K est de distinguer formellement :

- les « concepts » (C), c'est-à-dire des propositions en partie inconnues, nécessitant un processus de conception. Ces propositions sont dites « indécidables » ; cela signifie qu'on ne peut pas dire qu'elles sont impossibles à réaliser, mais on ne sait pas comment le faire en l'état actuel des connaissances.
- et les « connaissances » (K pour Knowledge) contenant des propositions ayant un statut logique, c'est-à-dire dont on sait si elles sont vraies ou fausses. Les connaissances comprennent celles dont les concepteurs disposent déjà ou celles qu'ils acquièrent pendant le processus de conception.

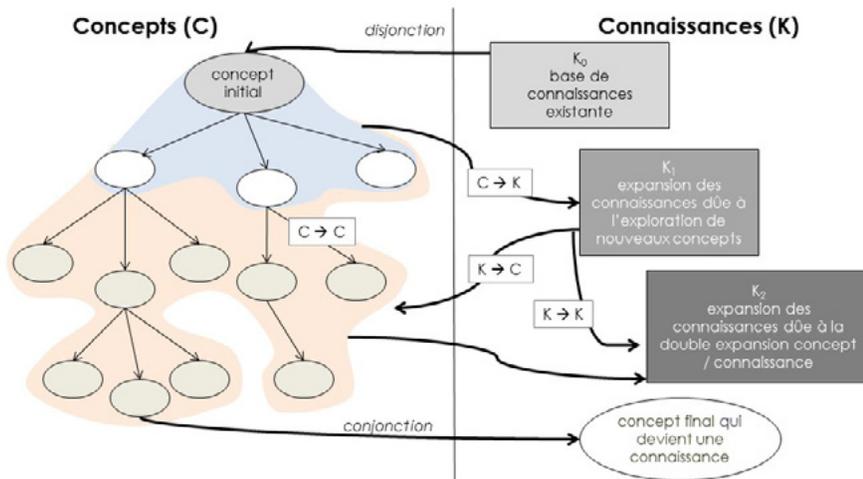


Figure 1 : Formalisme de la théorie C-K.

À partir d'une base de connaissances initiale (K_0), est opérée une disjonction, i.e. la formulation d'un concept initial. Ce concept est ensuite partitionné (arborescence dans l'espace C), ce qui conduit à la production de nouvelles connaissances (K_1), i.e. une expansion des connaissances. Ces nouvelles connaissances peuvent à leur tour nourrir des partitions dans l'espace C, i.e. une expansion des concepts ainsi que la production de nouvelles connaissances, et ce, jusqu'à obtenir une conjonction, i.e. le passage de concept à connaissance. Sources : (Hatchuel and Weil 2009; Agogné 2012)

Selon la théorie C-K, le point de départ d'un processus de conception est un « concept ». D'un point de vue formel, la théorie impose de travailler

simultanément dans les deux espaces (concepts et connaissances) pour formaliser le raisonnement de conception. Cela permet de rendre compte d'un double processus d'expansion : les connaissances permettent de faire émerger de nouveaux concepts et ces derniers entraînent l'expansion des connaissances. C'est l'expansion conjointe de ces deux espaces qui, selon la théorie, permet de générer des objets connus à partir de propositions inconnues.

Le formalisme de la théorie C-K permet de cartographier un raisonnement de conception en juxtaposant les concepts et les connaissances (voir Figure 18 et Figure 19). L'espace K permet de faire figurer et d'organiser les connaissances nécessaires à l'élaboration des projets, et l'espace C représente l'arborescence des concepts dans laquelle chaque nœud représente une partition au sens mathématique du terme, réalisée par l'ajout au concept initial d'une propriété issue de l'espace K. La théorie C-K s'appuie sur les résultats des mathématiques modernes (en particulier de la théorie des ensembles) pour développer des perspectives formelles sur les connaissances, la créativité et l'apprentissage (Agogué *et al.* 2013). Son formalisme peut être utilisé pour décrire un raisonnement *ex-post* ou bien pour élaborer un raisonnement de conception innovante et l'évaluer.

Depuis une quinzaine d'années, la théorie a pu être mise en pratique dans une trentaine d'entreprises relevant de domaines variés, tels que les NTIC¹⁰, l'agro-alimentaire ou l'aéronautique. Les travaux menés en partenariat avec ces entreprises ont permis d'améliorer leurs stratégies d'innovation, l'organisation des équipes d'innovation, le management des recherches ou encore le pilotage de la valeur créée par les projets d'innovation.

SYNOPSIS DE L'OUVRAGE

Notre recherche part d'une interprétation de la crise environnementale de l'agriculture adoptant le point de vue de la conception (Partie 1). Nous développons une analyse généalogique des systèmes de conception dans l'agriculture en nous concentrant sur le cas français. Nous confrontons cette trajectoire avec celle des connaissances en écologie, et montrons que l'agro-

10 NTIC: Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication.

écosystème a longtemps été un point aveugle de l'agronomie et de l'écologie. Pourtant, il nous semble fructueux de le considérer comme un nouvel objet de conception permettant d'intégrer les savoirs en écologie et en agronomie.

Nous analysons ensuite deux champs de la littérature, toujours sous l'angle de la conception, pour comprendre comment les scientifiques traitent aujourd'hui de la prise en compte du fonctionnement des écosystèmes (Partie 2) : d'une part celui concernant les services écosystémiques, et d'autre part celui portant sur les biens communs et la gestion des socio-écosystèmes. La littérature sur les services écosystémiques, en plein essor dans les disciplines de l'écologie, l'agronomie, l'économie et les sciences sociales, conduit à repenser les interactions entre les hommes et les écosystèmes. Celle sur les biens communs, qui a été étendue à partir des années 2000 à la gestion des socio-écosystèmes, traite plus spécifiquement des modes de gouvernance à mettre en place pour pouvoir gérer de façon durable les écosystèmes. Nous montrons que ces deux domaines de recherche, pourtant fructueux et novateurs, comportent un point aveugle qui concerne la conception des écosystèmes.

Nous présentons ensuite une situation observée empiriquement (Partie 3), dans laquelle les enjeux de préservation de la biodiversité, notamment des oiseaux de plaine, et de la qualité de l'eau font l'objet d'une forte mobilisation. Nous avons suivi le montage d'un projet dans lequel sont impliqués un centre de recherche en écologie et une coopérative agricole, deux acteurs qui ont des points de vue très différents sur l'agro-écosystème. Il s'agit de la mise en place d'une filière courte de luzerne, qui vise à favoriser l'implantation de prairies au sein des grandes cultures, de manière à rétablir un certain nombre de régulations écologiques. Ce cas empirique renforce notre démonstration théorique d'un point aveugle concernant la conception des agro-écosystèmes et permet d'ouvrir des pistes pour y remédier.

L'ensemble de cette analyse nous conduit à élaborer un modèle théorique pour la conception d'un agro-écosystème (Partie 4), avec deux préoccupations : la première est de pouvoir qualifier l'objet à concevoir, la seconde est de pouvoir initier un processus collectif de conception impliquant les parties prenantes de l'agro-écosystème. Notre recherche met en évidence les nouveaux enjeux de gouvernance et les défis managériaux soulevés par la prise en compte des agro-écosystèmes comme objets de conception.