

N°: 2016 AGPT 0003

Doctorat AgroParisTech

THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech)

Spécialité : Sciences Agronomiques

présentée et soutenue publiquement par

Quentin Toffolini

le 15 janvier 2016

**Produire des connaissances actionnables pour la re-conception pas-à-pas
de systèmes de culture vers l'agroécologie.**

Directrice de thèse : **Marie-Hélène JEUFFROY**

Co-encadrement de la thèse : **Lorène PROST**

Jury

Mme Marianne LE BAIL, Professeur, **AgroParisTech**
Mme Mireille Navarrete, Chargé de recherches, **INRA**
M. Paul OLR, Professeur, **Agrosup DIJON**
M. Eric SCOPEL, Chercheur, **CIRAD**
M. Bernard HUBERT, Directeur de recherche émérite, **INRA**
Mme Lorène PROST, Chargé de recherche, **INRA**
Mme Marie-Hélène JEUFFROY, Directeur de recherche, **INRA**

Président
Rapporteur
Rapporteur
Examinateur
Examinateur
Examinatrice
Examinatrice

Avant-propos

Des personnes, des maisons, des plumes.

Cette période de vie qu'a été la thèse a très largement participé à transformer mon rapport à l'action, à développer un tout petit peu ma capacité à faire des choix sereins pour orienter mon avenir et mon expérience du monde et des relations aux autres. Puisqu'au sortir du nid de l'école et du confort de la connaissance, il faut bien agir dans la complexité du monde (qu'on nous faisait croire juste 'compliqué' !), et agir avec les autres. J'ai un peu triché en m'orientant vers un travail qui visait justement à prendre comme objet de recherche ce lien entre la connaissance et l'action. Creuser un peu plus cette action avant d'y baigner complètement ? Vraiment, il faut perdre des plumes ? Oui, un premier vol bien balloté entre les champs de possibles, les niveaux de confiance, de concepts et d'envies. Mais un vol toujours accompagné et encouragé !

Mes premiers remerciements vont naturellement, et avec énormément d'enthousiasme, à Marie-Hélène Jeuffroy et Lorène Prost. On ne fait pas visiter à tout le monde les arrières plans de sa pensée, même scientifique. On ne fait pas rentrer tout le monde dans cette maison de la réflexion, celles où on est avant tout avec soi, où on se laisse aller autant qu'on se construit. Je crois que chez moi, les pièces de cette maison peuvent paraître jonchées de désordre. S'il a été tant appréciable de travailler avec Lorène et Marie-Hélène, c'est pour leur disponibilité et leur ouverture au fait de se retrouver à discuter dans ces pièces. Merci d'avoir joué le jeu des pas chinois entre les idées que je n'ai pas rangé, d'avoir pris le temps de s'y poser et de regarder ce qui s'y trouvait, même de chercher en soulevant des piles, pour voir ce qu'il était possible de faire et surtout ce que je commençais à y faire, comment je m'y prenais, qu'est-ce qui était important pour moi. Merci de m'avoir proposé d'installer des étagères et aidé à les remplir tout en me laissant libre de l'ordre choisi, de ne pas vous être énervées dans les pièces les plus encombrées de confusions, voire d'avoir faussement trébuché sur ce qui semblait le plus urgent pour que je m'en occupe avec plus d'efforts. Merci de ne pas m'avoir poussé à un rangement sans écoute, supposant que ce serait de toute façon mieux que ce 'chantier', d'avoir 'joué' (parce que oui on rigolait à chaque fois) avec moi pour rendre ces espaces intéressants à fréquenter, tout en restant des espaces de créativité pour moi. Merci pour cette finesse, ce respect et cette pertinence qui ont largement participé au développement de ma capacité à recevoir dans cette maison de pensées. Elles y seront toujours invitées d'honneur !

Mes premiers invités étaient les membres de comité de thèse, qui ont énormément contribué à l'émergence, à l'amélioration, à l'organisation des idées et des analyses dans ce travail. Merci à Marianne Cerf, de m'avoir tant de fois redonné confiance en exprimant sa compréhension de mon travail (même si je ne l'avais pas encore compris moi-même). Nos discussions me seront toujours aussi précieuses, surtout si j'arrive un jour à finir mes phrases... Merci à Marion Casagrande, à Nathalie Girard, à Michel Duru, et à Jean-Marc Meynard (qui m'a très tôt mis en garde sur mon attitude défensive : oui il faut accepter qu'on nous retire des plumes pour avancer !).

Je ne détache pas cette maison de pensées de celles, concrètes, qui m'ont accueillies. Je souhaite remercier tous les collègues qui viennent jouer de leurs plumes dans l'aile A du bâtiment Eger de Grignon. Ceux qui ont partagé mon bureau : Mathieu Lorin, avec qui le partage de la croissance lente et minutieusement sculptée de nos thèses respectives était un plaisir, et une constante attention à ces deux petits pommiers qui verdissaient le bureau (et je le soupçonne toujours d'avoir joué de l'ammonitrate); Maud Benezit, qui m'a aidé à rire de mes problèmes et écrivant les première planches de *Les problèmes de Quentin* (j'ai pleins d'idées pour de nouvelles pages !). Merci à mes collègues de l'UMR Agronomie pour leur aide, leurs remarques constructives, leur bonne humeur tout au long du vol : merci à Clémence, Laurence (pour

toutes les expressions que j'ai apprises), Michèle, Chantal, Lucie, Céline, Amandine, Cynthia, Joëlle, merci à Arnaud (pour son humour franc et ses conseils vestimentaires), Charles, Damien, But', Jean-Bat', Alain, Raymond. Je dois également mentionner un exilé de l'aile C, Paul-Emile Noirot-Cosson de tout son nom, avec qui on se comparait les plumes toujours pour en rire et pour s'entraider. Je me rappelle être assis sur les marches après l'oral de l'école doctorale, « ça serait pas mal qu'on se retrouve tous les deux à Grignon ». Effectivement, c'était bien mieux que pas mal de partager ces années de thèse. Au fait, « tu pars à quelle heure ce soir ? T'as des petits gâteaux dans ta voiture ? Bien joué ! ».

Je souhaite aussi remercier les collègues du LISIS. J'ai commencé dans une seconde moitié de thèse à oser me poser de temps en temps à bord du 'bois de l'étang', et la distance d'abord crainte entre les thématiques de recherche et les domaines disciplinaires s'est transformée un atout constructif. Merci à Phanette Barral, un vrai volcan de bonne humeur, toujours prête à faire un point sur les scores du rire. Merci à Fanny Pélissier à qui j'ai piqué tant de ricorée, à Elise, Laura, Alix, Jessica. Merci à Patrick Steyaert, et au passage à toute l'équipe qui organise les Journées Des Doctorants du SAD, qui ont été des moments clés pour la réflexion sur mon propre travail et, au-delà, mon bien être de thésard ! Merci à Marc Barbier pour les nombreux conseils méthodologiques, stratégiques, et ses encouragements.

Merci à Mireille Navarrete, Marianne Le Bail, Paul Olry, Eric Scopel, et Bernard Hubert d'avoir manifesté leur enthousiasme pour participer à mon jury.

Je tiens à remercier tous les agriculteurs que j'ai rencontrés au cours de cette thèse, qui se sont prêtés à une approche réflexive sur leurs propres actions lors des entretiens. Je n'oublie pas non plus tous ceux qui m'ont aidé à construire et essayer de comprendre les situations d'interaction collectives entre agriculteurs, conseillers, et chercheurs : Aude Charlier, Elodie Betencourt, Marie-Sophie Petit, Giles Salitot, Benoît Chorro, Bertrand Omon. Merci à Jérôme Pernel et Pierre Mischler pour leur aide et leur grande ouverture dans l'analyse de leur propre projet au sein d'AgroTransfert Picardie.

Il m'est impossible de séparer les maisons qui ont abrité mon expérience de la thèse. Celle des pensées, celles des lieux de travail, sont inséparables de celle de mon lieu de vie, et surtout de ses protagonistes. En effet, les *Laitières* ont été l'abri, certes très frais l'hiver, de partages du soi qui vont bien au-delà du partage du toit. Si une thèse demande d'élaborer sa pensée, de lui faire prendre de premiers envols pour la partager, alors elle a été pour moi indissociable, dans sa réalisation et le sens que j'ai voulu lui donner, de toutes les dimensions de vie partagées avec Benjamin, Antoine et Vincent.

Merci à tous les amis qui m'ont encouragé, surtout dans les derniers mois. A la Bnf, en mangeant les frites des Marsouins, en grim pant une voie, en allant au théâtre, en dessinant des Simones, en fonds sonores, en lettre lao, en téléphonant au Cap. Merci pour cette confiance que vous me permettez d'avoir dans la filiale amicale, qui vient si souvent compenser des pertes de confiance ailleurs.

Merci à mes parents et ma sœur, en premier lieu, mais à toute ma grande famille également, de me rappeler souvent que c'est bon, on en a pleins des plumes, on peut et on doit ! en perdre. Et même, elles repoussent ! Vous me le montrez et me le faites sentir, même dans les moments où c'est dur à croire ! Bravo.

Merci à Laure, avec qui je progresse depuis quelques années dans la compréhension que l'amour n'est pas la fonte de l'individualité avec une autre, mais bien ce qui en fait constamment évoluer les frontières de la façon la plus intrigante et forte, ce qui met du vent dans les plumes.

Je ne suis pas près de me poser,

Merci.

Introduction.....	1
Partie 1. Problématique	4
<i>1 La re-conception des systèmes de culture dans une démarche agroécologique.</i>	<i>4</i>
1.1 LE CONCEPT DE SYSTEME DE CULTURE POUR ABORDER LES DYNAMIQUES DE CHANGEMENT AGRICOLE	4
1.2 UNE NECESSAIRE RE-CONCEPTION DES SYSTEMES DE CULTURE	5
1.3 THEORISATION DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION ET CARACTERISTIQUES EN AGRONOMIE.....	6
1.3.1 <i>La conception dans les sciences du design, de gestion et du management.....</i>	<i>6</i>
1.3.2 <i>Problèmes spécifiques posés par la conception de systèmes de culture.....</i>	<i>9</i>
1.3.3 <i>Comment les agronomes abordent les processus de conception?.....</i>	<i>12</i>
1.3.4 <i>Les spécificités de la re-conception pas-à-pas des systèmes de culture basés sur des principes agroécologiques.....</i>	<i>15</i>
1.4 QU'EST-CE QUE L'ACTION DE L'AGRICULTEUR DANS CES PROCESSUS DE RE-CONCEPTION PAS-A-PAS?.....	17
<i>2 Quelles ressources produisent les agronomes pour outiller ces processus de re-conception ?.....</i>	<i>20</i>
2.1 DES OUTILS DESTINES MAJORITAIREMENT A LA CONCEPTION DE NOVO	21
2.2 SUR QUELLES CONNAISSANCES CES RESSOURCES POUR LA RE-CONCEPTION DE SYSTEMES DE CULTURE PEUVENT-ELLES S'APPUYER ?	23
2.2.1 <i>Evolutions des connaissances produites par la discipline agronomique.....</i>	<i>24</i>
2.2.2 <i>Elargir les sources de connaissances des agronomes pour le développement d'une agroécologie dans les pratiques?.....</i>	<i>28</i>
2.2.3 <i>Peu de travaux réflexifs en agronomie sur le contenu des connaissances adaptées à l'action en situation.....</i>	<i>33</i>
<i>3 Les approches théoriques de la connaissance et des liens entre connaissances et action</i>	<i>36</i>
3.1 LA NOTION DE « CONNAISSANCE » DANS LA LITTERATURE : DISTINCTIONS AVEC SAVOIR ET INFORMATION, LIENS A L'INDIVIDU.....	36
3.2 CATEGORISER OU CARACTERISER LES CONNAISSANCES POUR PENSER LEUR LIEN A L'ACTION ?.....	38
3.2.1 <i>Des catégorisations fonctions de l'objectif épistémique.....</i>	<i>38</i>
3.2.2 <i>Des catégorisations fonctions de contenus ou objets de connaissances, peu spécifiques au domaine agronomique</i>	<i>40</i>
3.2.3 <i>Définir ce que peuvent être des « connaissances actionnables » ?.....</i>	<i>43</i>
3.3 LES APPORTS DE LA DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE POUR ETUDIER LA CONSTRUCTION D'UNE CAPACITE D'ACTION DANS LES SITUATIONS DE RE-CONCEPTION	46
3.3.1 <i>La conceptualisation dans l'action</i>	<i>46</i>
3.3.2 <i>Structure conceptuelle des situations.....</i>	<i>47</i>
<i>4 Construction des questions de recherche.....</i>	<i>49</i>
Partie 2. Démarche méthodologique.....	53

1	<i>Critères de choix des techniques et situations d'étude</i>	54
2	<i>Description des dispositifs étudiés</i>	57
2.1	ANALYSE DE DOCUMENTATIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES	57
2.2	SEPT ENTRETIENS SEMI-DIRECTIFS EN ILE DE FRANCE	58
2.3	L'ANALYSE RETROSPECTIVE D'UN PROJET DE RE-CONCEPTION : SYSTEMES DE CULTURE INTEGRES, AGROTRANSFERT PICARDIE	59
2.4	DES DISPOSITIFS DE SUIVI ET D'ANIMATION D'INTERACTIONS COLLECTIVES	60
2.4.1	<i>Visites d'essais systèmes</i>	60
2.4.2	<i>Les réunions de réflexion de groupes d'agriculteurs: partages de connaissances pour la conception de changements techniques</i>	62
3	<i>Les méthodes de collecte et de traitement des données</i>	64
3.1	ENTRETIENS INDIVIDUELS SEMIS-DIRECTIFS	64
3.2	LES REUNIONS D'AGRICULTEURS : ANIMATION ET OBSERVATION PARTICIPANTE	65
3.3	METHODES DE TRAITEMENT DES DONNEES RECUEILLIES	66
	Partie 3. Résultats	69
	Chapitre I - Agronomic knowledge for cropping system design: attributes and dynamics of mobilization	70
1	<i>INTRODUCTION</i>	72
2	<i>Conceptual framework</i>	73
3	<i>Material and methods</i>	75
3.1	USING THE WRITTEN DOCUMENTS TO BUILD A FRAMEWORK OF KNOWLEDGE ATTRIBUTES	75
3.2	INTERVIEWS WITH FARMERS REDESIGNING THEIR CROPPING SYSTEMS: APPLICATION OF THE FRAMEWORK OF KNOWLEDGE ATTRIBUTES	76
4	<i>RESULTS:</i>	79
4.1	A FRAMEWORK OF KNOWLEDGE ATTRIBUTES COMBINING THE CONCEPTUAL FRAMEWORK AND EMPIRICAL FINDINGS	79
4.1.1	<i>Formatting of knowledge</i>	79
4.1.2	<i>Temporality and dynamics</i>	79
4.1.3	<i>Uncertainties</i>	79
4.1.4	<i>Objectives explicitly related to knowledge</i>	80
4.1.5	<i>Elements of agronomic reasoning (explanation)</i>	80
4.1.6	<i>References to agronomic situations</i>	80
4.1.7	<i>Monitoring and assessment of actions</i>	82
4.2	ANALYSIS OF WRITTEN DOCUMENTS ON THREE TECHNIQUES, USING THE KNOWLEDGE FRAMEWORK	82
4.2.1	<i>Quantitative analysis: which knowledge attributes are found in the different types of source concerning the three techniques?</i>	82
4.2.2	<i>Linkage analysis: are there attributes of knowledge that occur mostly together and that define knowledge profiles?</i>	84
4.3	IDENTIFICATION OF SPECIFIC DYNAMICS IN KNOWLEDGE MOBILIZATION BY FARMERS IN RE-DESIGN ACTIVITY	85

SOMMAIRE

4.3.1	<i>Application of the framework of attributes to build profiles of knowledge mobilized by a farmer over the course of technical change</i>	85
4.3.2	<i>Roles of knowledge profiles in step 1: Choice of a technique, decision to apply it and preparation for the implementation</i>	87
4.3.3	<i>Step 2: Several tests and errors, adaptation of specific monitoring and operational methods, amplification</i>	90
4.3.4	<i>Step 3: Evaluation of consequences of new practices on the cropping system</i>	90
4.3.5	<i>Distinction between technical changes according to the knowledge attributes mobilized</i>	91
5	<i>Discussion</i>	92
5.1	THE PROPOSED FRAMEWORK SPECIFIED MISMATCHES BETWEEN 'SUPPLIED' AND 'REQUIRED' KNOWLEDGE.....	92
5.2	WHAT ADDED VALUE FOR STUDIES ON KNOWLEDGE FOR RE-DESIGN PROCESSES?	93
5.3	IMPLICATIONS FOR THE SUPPORT OF CROPPING SYSTEM RE-DESIGN PROCESSES: A NEED FOR A DYNAMIC APPROACH	94
6	<i>Conclusion</i>	95
7	<i>Acknowledgements</i>	95
Chapitre II - Indicators used by farmers to design agricultural systems : a survey 96		
1	<i>Introduction</i>	99
2	<i>Material and Methods</i>	101
2.1	DESCRIPTION OF THE FOUR CASE STUDIES	101
2.1.1	<i>Interviews with farmers engaged in the processes of redesigning their cropping system, or who had participated in a redesign project (case studies 1 & 2)</i>	102
2.1.2	<i>Observations during visits to cropping system trials on experimental stations with groups of farmers (case study 3)</i>	103
2.1.3	<i>Design workshop with a group of farmers (case study 4)</i>	103
2.2	DATA ANALYSIS: IDENTIFICATION OF FUNCTIONS AND ATTRIBUTES OF INDICATORS	103
3	<i>Results and discussion</i>	104
3.1	FUNCTIONS FULFILLED BY INDICATORS FOR FARMERS' ACTION.....	104
3.1.1	<i>Identification of 22 functions sorted into 5 categories</i>	104
3.1.2	<i>Quantitative analysis: an extensive use of the indicators for farmers to build a reflexive understanding of their own practices and agronomic reasoning</i>	110
3.2	ATTRIBUTES OF INDICATORS.....	111
3.2.1	<i>6 categories of attributes identified</i>	111
3.2.2	<i>Quantitative analysis: passive, visual and relative indicators are dominant to support the design of technical changes</i>	112
3.3	RELATIONS BETWEEN FUNCTIONS AND ATTRIBUTES OF INDICATORS	113
3.3.1	<i>Original attributes of indicators mainly correspond to functions at strategic decision levels</i>	113
3.3.2	<i>A robust framework that points to new indicators to develop</i>	115
3.4	CONSISTENCY OF THE IDENTIFIED INDICATORS WITH AN ADAPTIVE MANAGEMENT APPROACH	117
4	<i>Conclusion</i>	117

5	<i>Acknowledgements</i>	118
	Chapitre III - The use of fundamental knowledge by farmers to re-design their cropping systems: what are the necessary conditions?	119
1	<i>Introduction</i>	122
2	<i>Method</i>	124
3	<i>Case studies</i>	125
3.1	ORGANIC FARMERS MEETING ABOUT PERENNIAL WEED CONTROL	125
3.2	SYSTEM EXPERIMENT VISIT WITH A GROUP OF FARMERS	126
3.3	A FARMER'S IMPLEMENTATION OF STUBBLE PLOUGHING AND COVER CROPS IN A MINIMUM-TILLAGE SYSTEM	127
3.4	A FARMER'S IMPLEMENTATION OF A MINIMUM-TILLAGE CROPPING SYSTEM	127
3.5	CO-DEVELOPMENT OF WEED MANAGEMENT STRATEGIES IN LOW-INPUT CROPPING SYSTEMS	128
4	<i>Crosscutting Analysis: conditions for the mobilization of fundamental knowledge and the process of systemic contextualization</i>	131
4.1	FOCUSED, PARTIAL, FUNDAMENTAL, OFTEN QUALITATIVE KNOWLEDGE IS USED AND MAY UNLOCK SITUATIONS OF CHANGE 131	
4.2	FARMERS USE THE KNOWLEDGE THEY CAN LINK TO THEIR OWN ACTION	132
4.3	FUNDAMENTAL KNOWLEDGE SUPPORTS THE REFORMULATION OF INDIVIDUAL EXPERIENCES AND MAKES THEM USEFUL TO OTHERS 134	
4.4	FARMERS APPLY THREE MAIN PROCESSES TO LINK GENERIC KNOWLEDGE TO THEIR OWN SYSTEM.	135
4.5	THE GRADUAL LINKING OF FUNDAMENTAL KNOWLEDGE TO INTERACTING PRACTICES IN THE CROPPING SYSTEM FORMS A SYSTEMIC UNDERSTANDING	137
5	<i>Conclusion</i>	139
	DISCUSSION et CONCLUSION générales	141
1	<i>La re-conception pas-à-pas vers l'agroécologie : une posture d'action</i>	142
1.1	APPORTS POUR LA COMPREHENSION ET L'ACCOMPAGNEMENT DE LA RE-CONCEPTION	142
1.1.1	<i>La re-conception définie par rapport au comportement de l'agriculteur pour l'action</i>	142
1.1.2	<i>Trois caractéristiques majeures d'une posture d'action de re-conception</i>	143
1.2	QUELLE DYNAMIQUE DE CHANGEMENTS TECHNIQUES ?	145
1.3	QUEL MODELE POUR DECRIRE LA POSTURE D'ACTION DE RE-CONCEPTION ?	146
1.4	IMPLICATIONS PRATIQUES ET METHODOLOGIQUES POUR LES AGRONOMES	148
1.5	LIMITES METHODOLOGIQUES DANS L'ETUDE DES PROCESSUS DE RE-CONCEPTION	150
2	<i>Concevoir un système de culture : quelles systémiques dans les dynamiques de mobilisation de connaissance ?</i>	151
2.1	APPORTS : UNE SYSTEMIQUE CONSTRuite PAR DES ENSEMBLES DE CONNAISSANCES MOBILISES DE MANIERE DYNAMIQUE 151	

SOMMAIRE

2.2	UNE SYSTEMIQUE QUI SE CONSTRUIT EN INTEGRANT L'ACTION DANS UN SYSTEME ET NON PAS EN COMBINANT DES EFFETS DE L'ACTION SUR UN SYSTEME.....	152
2.2.1	<i>Une construction progressive du système, plutôt qu'une approche globale et simultanée.....</i>	153
2.2.2	<i>Un positionnement de l'agriculteur dans le système : son action est constitutive de son fonctionnement.....</i>	154
2.3	IMPLICATIONS PRATIQUES ET METHODOLOGIQUES POUR LES AGRONOMES : DECRIRE ET EXPLICITER LE CONTENU D'UN SYSTEME DE CULTURE, OU BIEN PERMETTRE SA CONSTRUCTION SITUEE PAR L'AGRICULTEUR ?	155
2.3.1	<i>Permettre une description progressive et segmentée de l'ensemble du système de culture.....</i>	156
2.3.2	<i>Permettre le diagnostic du fonctionnement de parties du système dans la situation de l'agriculteur</i>	158
2.3.3	<i>Une proposition concrète pour les bibliothèques de techniques innovantes</i>	159
2.4	LIMITES	160
3	<i>Un regard sur les contenus de connaissances : les limites d'une telle entrée dans les processus de mobilisation et de construction de connaissances.</i>	161
3.1	UNE APPROCHE PAR LES « CONTENUS » ET LEUR SIGNIFICATION AGRONOMIQUE	161
3.1.1	<i>Une catégorisation spécifique à la re-conception pour guider et organiser des échanges de connaissances</i>	163
3.1.2	<i>D'une analyse des contenus à celle des dynamiques de mobilisation et de transformation des connaissances</i>	165
3.2	LIMITES	166
4	<i>Perspectives pour poursuivre des recherches sur les connaissances agronomiques utiles à l'activité des agriculteurs.....</i>	168
	Références Bibliographiques	171
	Liste des ANNEXES	194

Introduction

Depuis les années 70, les pratiques agricoles ont fortement évolué vers une stratégie de maîtrise des facteurs limitant la production (ex. la verse, les maladies, les insectes nuisibles, les mauvaises herbes, la nutrition azotée et hydrique). Grâce au développement des intrants de synthèse visant chacun de ces facteurs (ex. les régulateurs de croissance, les pesticides, les fertilisants azotés minéraux), les systèmes agricoles se sont progressivement artificialisés pour atteindre la production potentielle fixée par le milieu physique (Meynard & Girardin, 1991). Cette intensification a également contribué à spécialiser et homogénéiser les systèmes agricoles, réduisant ainsi la diversité des cultures, et amplifiant le besoin de recours aux intrants (Schott et al., 2010). Ces pratiques ont progressivement conduit à l'émergence de nombreux effets systémiques néfastes pour les ressources agricoles et l'environnement (MEA, IAASTD, Conway & Pretty, 2013). En particulier, l'usage intensif de pesticides et d'engrais azotés est une source de pollution de l'air, du sol et des eaux souterraines et superficielles (Stoate et al., 2001), une cause de perte de biodiversité cultivée (Bonnin et al., 2014) et non cultivée (Le Roux et al., 2008), une des causes du changement climatique (Snyder et al., 2009), ainsi qu'un problème de santé majeur pour les agriculteurs (Baldi et al., 2013; Elbaz et al., 2009; Jas, 2010). Face à ces constats, une évolution des pratiques agricoles vers des modes de production plus durables a progressivement été encouragée, la durabilité combinant des dimensions à la fois économiques, sociales et environnementales.

Dans ce contexte, l'agronomie, discipline scientifique qui vise à comprendre et à transformer les agroécosystèmes et les actions que l'homme y réalise, s'est particulièrement attachée à comprendre et favoriser les dynamiques de changement de pratiques agricoles. Selon de nombreux agronomes, cette évolution des pratiques agricoles passe par un changement en profondeur, aboutissant à leur re-conception (Meynard et al., 2012). Pour cela, il est aujourd'hui largement admis que l'agroécologie offre une voie prometteuse (Altieri & Rosset, 1996; Duru et al., 2015; Wezel et al., 2014). En effet, d'une part, elle permet une approche systémique des transformations souhaitables des pratiques en considérant non seulement les changements techniques mais également sociaux, cognitifs et organisationnels. D'autre part, elle repose sur le développement de moyens de gestion des agrosystèmes mobilisant davantage les processus biologiques. Comme le précisent Wezel et al. (2009), elle correspond à la fois à une science - de la science de la gestion des ressources naturelles dans des agroécosystèmes durables (Altieri, 2002a) à l'écologie des systèmes agroalimentaires (Francis et al., 2003) , à des pratiques (Wezel et al., 2014), et à un mouvement social et politique (par exemple en France avec le plan agroécologie pour la France). Il s'est ainsi progressivement dessiné un cadre scientifique, professionnel et institutionnel de la « transition agroécologique », favorisée par des initiatives politiques à la fois à l'échelle internationale (e.g. Symposium international sur l'agroécologie pour la sécurité alimentaire et la nutrition organisé par la FAO en 2015), européenne (e.g. verdissement de la Politique Agricole Commune, Partenariat Européen d'Innovation PEI), et nationale (e.g. Produisons Autrement, lancement et financement des Groupes d'Intérêt Economique et Environnemental par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt).

Mais, si les signaux sociétaux, politiques et réglementaires convergent vers l'idée de faire évoluer les systèmes agricoles vers des systèmes agroécologiques, les évolutions de pratiques dans ce sens restent minoritaires. Ceci s'explique d'abord par un système sociotechnique bien organisé autour d'un paradigme de production basé sur l'usage intensif d'intrants (Meynard et al., 2013). Ce paradigme empêche l'émergence de certaines innovations non cohérentes avec ce système. Cette faible évolution des pratiques s'explique également par des difficultés spécifiques aux types de changement mis en jeu: ils imposent, pour l'agriculteur, un changement de rationalité de l'activité (Girard, 2014). Deux exemples peuvent illustrer ce changement de rationalité. Premièrement, la mise en application de principes agroécologiques implique de passer d'une optique de minimisation du risque (via l'artificialisation du milieu à l'aide des intrants) à celle d'une gestion des incertitudes dans l'action (e.g., les régulations biologiques sont souvent très dépendantes du climat). Ensuite, faire reposer la gestion de la production sur des processus biologiques qui ont lieu dans l'environnement de l'exploitation peut engendrer des délais de réponse de l'action plus longs que pour l'utilisation d'intrants de synthèse (par exemple l'augmentation de l'activité biologique du sol, liée à l'implantation fréquente de couverts végétaux et à la réduction du travail du sol, et ses impacts sur les flux de carbone et d'azote dans le sol).

C'est dans le cadre des travaux dédiés à ces dynamiques de changement de pratiques pour le développement d'une agroécologie que s'inscrit cette thèse. Suite aux incitations politiques mentionnées ci-dessus, de nombreuses initiatives des agronomes de la recherche et du développement sont apparues pour équiper une évolution des pratiques dans le cadre de cette transition (activités des Réseaux Mixtes Technologiques, et en particulier le RMT Systèmes de culture innovants, nombreux projets financés par le fonds du Compte d'Affectation Spéciale Développement Agricole et Rural CASDAR, réorientation des plans d'action des chambres d'agriculture, ...). Cependant, ces initiatives font face à une tâche difficile : accompagner efficacement les changements de pratiques des agriculteurs dans ce cadre de transition implique de changer des modes de raisonnement et donc de revisiter les ressources cognitives à construire et mobiliser pour favoriser les changements. Mon objectif, dans ce travail, est de fournir aux agronomes des pistes et cadres nouveaux pour penser les connaissances qu'il serait nécessaire de produire ou formaliser pour permettre et accompagner des changements de pratiques vers l'agroécologie. Alors que de nombreux travaux en ce sens se basent sur les propriétés des agroécosystèmes qui relèvent d'une gestion agroécologique et qui sont déterminées par les agronomes pour proposer des combinaisons de techniques et des règles d'action pour les mettre en œuvre (e.g. Jensen et al., 2015; Malézieux, 2012; Wezel et al., 2014), il semble complémentaire de s'intéresser à ce que l'agriculteur réalise dans son activité lorsqu'il a déjà engagé un changement pour la re-conception de son système de culture. En tant qu'agronome, il me paraît déterminant de comprendre quelles sont les ressources, et notamment les connaissances scientifiques, qui permettent ces évolutions de pratiques et l'activité spécifique à laquelle elles correspondent pour l'agriculteur.

Quelles ressources permettent aux agriculteurs d'initier et poursuivre des changements techniques dans des situations de re-conception vers l'agroécologie ? Cette formulation n'est pas neutre. Elle conduit d'une part à revendiquer une position « réflexive » d'agronome, dans le sens où elle vise à orienter d'autres agronomes dans la production de ces connaissances. Elle repose donc également

sur l'hypothèse que les connaissances scientifiques peuvent contribuer à ces situations de re-conception. Elle suppose enfin de préciser mon analyse de l'activité des agriculteurs autour des dynamiques de mobilisation de connaissances qui contribuent à la construction de leur capacité à agir dans le changement. Pour cela, ce travail a mobilisé de nombreux concepts et méthodes issues des sciences sociales, notamment ceux de la didactique professionnelle qui propose des outils d'analyse du travail et cherche non seulement à décrire et comprendre le travail mais aussi à construire des situations didactiques. Cette approche du travail de l'agriculteur pour traiter des questions de connaissances est en particulier appropriée dans le cas de situations de re-conception *pas-à-pas* de systèmes de culture. En effet, l'agriculteur mobilise et construit continuellement de nouvelles connaissances au cours de ces processus. Se pose alors la question de savoir si les connaissances produites par les agronomes sont adaptées ou si la re-conception n'implique pas une activité spécifique qui impose de revoir des paradigmes de production de connaissances. A travers cette démarche interdisciplinaire, je revendique donc bien une posture d'agronome, qui me semble appropriée pour produire une analyse qui permettra un retour vers les principaux travaux des agronomes eux-mêmes.

Partie 1. Problématique

1 LA RE-CONCEPTION DES SYSTEMES DE CULTURE DANS UNE DEMARCHE AGROECOLOGIQUE.

Dans cette première partie, je précise les raisons qui m'amènent à spécifier mon approche des dynamiques de changement agricole vers l'agroécologie autour de questions liées à la re-conception des systèmes de culture. Je vais pour cela présenter le concept de système de culture (1.1), et la manière dont il permet de penser les dynamiques de changement de pratiques (1.2). Cela m'amènera à détailler ce que sont les activités de conception (1.3), d'abord de façon générique pour identifier leurs dimensions clés, puis plus particulièrement dans le cas de la re-conception des systèmes de culture. Cela m'amènera enfin à préciser ce qu'est l'action de l'agriculteur dans ces processus de re-conception (1.4).

1.1 Le concept de système de culture pour aborder les dynamiques de changement agricole

Les dynamiques de changement à l'œuvre dans le monde agricole concernent une multitude d'échelles, allant de la parcelle au sein de l'exploitation à l'organisation des différents systèmes de production dans une région. Pour étudier ces dynamiques, plusieurs concepts proposés par les agronomes peuvent être mobilisés. Un concept central est celui de *système de culture*, introduit par Sebillotte (1990) comme « *l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par : i) la nature des cultures et leur ordre de succession ; ii) les itinéraires techniques¹ appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues.* ». Ce concept permet d'analyser la diversité des pratiques des agriculteurs, leur cohérence, leur logique agronomique, et de comprendre leurs effets sur l'agroécosystème. Il prend en compte à la fois les déterminants des pratiques et les interactions entre pratiques (la cohérence entre techniques qu'il vise peut concerner autant la plante individuelle, que la parcelle élémentaire, voire l'îlot de parcelles). Le Gal *et al.* (2010) reprennent ainsi le concept de système de culture en considérant que son intérêt est de rassembler une composante décisionnelle (les actes techniques sont issus de décisions successives étroitement liées entre elles, raisonnées par l'agriculteur) et une composante biophysique (les différentes techniques appliquées sur la même parcelle ont des effets sur les mêmes composantes de l'agrosystème). Ainsi, il est l'objet privilégié des agronomes pour répondre aux questions concernant à la fois le jugement que l'on peut porter sur les parcelles agricoles (diagnostic, évaluation), et la proposition de pratiques davantage adaptées aux attentes de la société (conception)(Meynard *et al.*, 2001). Il permet la gestion des interactions entre les états de l'agrosystème (couvert végétal et son milieu biophysique), au cours d'une campagne culturale, par l'interaction entre les choix techniques (e.g. un semis de blé

¹ L'itinéraire technique est lui-même défini comme « *combinaison logique et ordonnée de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée* » (Sebillotte, 1974).

visant à maximiser la durée du cycle de la culture peut entraîner de plus fortes pressions de maladie, ce qui entrainera par la suite des traitements anti-fongiques). D'une année à l'autre, elle est décrite par l'analyse de « l'effet précédent », défini comme « *la variation d'état du milieu (caractères biologiques, chimiques et physiques), entre le début et la fin de la culture considérée, sous l'influence combinée du peuplement végétal et des techniques qui lui sont appliquées, l'ensemble étant soumis aux influences climatiques* » (Sebillotte, 1990).

Le concept de système de culture a été très largement mobilisé par les agronomes en France (Doré et al., 2006) : pour concevoir des combinaisons de techniques offrant *a priori* des performances visées (e.g. cultiver un colza après un pois pour capter l'azote fourni par la légumineuse dès l'automne et réduire le risque de lixiviation pendant l'hiver, en semant tôt le colza de manière à maximiser sa capacité à accumuler de l'azote pendant la fin de l'été et l'automne, et à réduire le risque d'infestation par le phoma), pour évaluer les effets à long terme de combinaisons de techniques sur les ressources du milieu, améliorant ainsi la connaissance du fonctionnement du champ cultivé (e.g. analyse des effets de l'implantation de couverts d'interculture pièges à nitrates, du non labour, et de la réduction des doses de fertilisation azotée sur les pertes d'azotes et la teneur en azote du sol, (Constantin et al., 2010), et pour étudier les logiques d'action et de prise de décision des agriculteurs (Sebillotte & Soler, 1990).

Le concept de système de culture présente donc l'intérêt de permettre d'établir des relations entre les objectifs de l'agriculteur, les moyens dont il dispose, les techniques qu'il va appliquer, et les effets de ces techniques et de leurs interactions sur les composantes de l'agrosystème. Il intègre directement, via les interactions entre techniques appliquées, l'action de l'agriculteur dans une temporalité liée aux évolutions des états du système.

1.2 Une nécessaire re-conception des systèmes de culture

De nombreuses études ont montré que les changements de pratiques vers des modes de production plus durables ne peuvent se limiter à l'optimisation des fonctions individuelles dans un système. Hill et McRae (1995) proposent ainsi de distinguer trois niveaux de changement : « l'efficacité », correspondant à l'optimisation de l'usage des intrants pour « *réduire la consommation et le gaspillage de ressources coûteuses et rares* » (par exemple par le suivi des bioagresseurs pour positionner les traitements pesticides), « la substitution », correspondant au remplacement des intrants nocifs pour l'environnement ou consommateurs de ressources peu renouvelables, par des intrants plus respectueux de l'environnement (par exemple remplacer un engrais de synthèse par un produit organique, ou un pesticide de synthèse par un produit de biocontrôle), et la « re-conception », correspondant à la mise en œuvre de techniques visant à réduire les risques d'occurrence de problèmes ou limiter l'usage des ressources (par exemple en réintégrant des cultures légumineuses dans les successions de cultures pour réduire l'utilisation d'engrais de synthèse) par le réarrangement interne des fonctions et/ou de la structure du système. Ces auteurs affirment également que la transition d'un système « conventionnel » vers un système « durable » suit généralement une évolution qui parcourt ces trois niveaux comme différentes phases, en général successives, de la re-conception (Hill, 2006, 2014). Sans reprendre l'idée d'une trajectoire, d'autres

auteurs insistent sur le fait qu'il est nécessaire d'aller au-delà de la substitution (Altieri & Rosset, 1996) car ces différents niveaux aboutissent à des systèmes aux propriétés distinctes. C'est aussi l'idée reprise par Duru *et al.* (2014) qui associent respectivement à une « faible » et une « profonde » modernisation écologique de l'agriculture (Horlings & Marsden, 2011), les paradigmes d'efficacité ou substitution, d'une part, et celui de re-conception, d'autre part, celle-ci étant basée sur la production de « services intrants » fournis par une biodiversité cultivée. De la même façon, les travaux d'experts dans le cadre de l'étude Ecophyto R&D (Guichard & Savini, 2009), qui comparent les performances économiques, agronomiques et environnementales de systèmes de culture, distinguent les systèmes de culture selon différents « niveaux de rupture ». Ils associent la re-conception aux systèmes proposant le plus haut niveau de rupture. D'autres auteurs insistent également sur le fait que les changements de pratiques adéquats pour re-concevoir des systèmes de culture reposent sur la nécessité de « *penser et agir de manière systémique* » (Meynard et Casabianca 2012). En effet, ils considèrent que les innovations de type « command and control » ont un rôle à jouer mais ne peuvent pas suffire pour prendre en compte la diversité des objectifs assignés aux systèmes de culture, et ont des effets non intentionnels et non désirables. Ceci est d'autant plus probable lorsque l'on considère une re-conception vers des systèmes basés sur des principes agroécologiques (e.g. le maintien de la faune du sol ayant une fonction dans la structure du sol, le maintien des prédateurs naturels pour contrôler les bioagresseurs, l'implantation de légumineuses pour compléter les apports d'azote par la fixation symbiotique), dans lesquels une grande diversité de techniques peuvent agir sur les mêmes processus d'une part, et où chaque technique impacte une diversité de processus d'autre part.

Re-concevoir les systèmes de culture répond donc à la fois au besoin de forte rupture par rapport aux systèmes actuels dominants, et à l'adoption de démarches systémiques, les limites des innovations techniques ponctuelles ayant été éprouvées.

1.3 Théorisation de l'activité de conception et caractéristiques en agronomie

Penser les dynamiques de changement agricole en termes de re-conception de systèmes de culture nous amène à explorer ce qu'est l'activité de conception pour les différents acteurs qui y contribuent, et quels problèmes spécifiques elle pose. Dans cette partie, je m'intéresse d'abord à la conception telle qu'elle est théorisée de manière générale (1.3.1). J'identifie les dimensions clés des activités de conception pour mieux cibler, ensuite, comment elles sont prises en compte par les agronomes (1.3.2). L'orientation de la re-conception vers l'application de principes agroécologiques implique des particularités que je détaillerai (1.3.3) pour ensuite décrire ce qu'est l'action de l'agriculteur au cours de ces processus de re-conception (1.3.4).

1.3.1 La conception dans les sciences du design, de gestion et du management

Les processus de conception sont l'objet de recherches depuis les années 1960. Les différentes communautés qui y participent ont proposé des formalisations très variées de ces processus. Nous ne cherchons pas ici à en parcourir l'exhaustivité, mais plutôt à extraire les éléments qui peuvent aider à penser la conception en agronomie.

Un premier courant d'analyse de l'activité de conception a été celui des Design Methods. Principalement porté par l'ingénierie, il rejetait l'idée que la conception résultait d'une inspiration sortie d'une boîte noire. On peut distinguer deux générations de Design Methods (Bayazit, 2004). La première était essentiellement prescriptive et cherchait à rationaliser la conception par des méthodes, de la même façon que des opérations manufacturières pouvaient être rationalisées. Mais cette approche a été critiquée pour sa rigidité et son rationalisme strict. D'autres ont tenté de mieux prendre en compte le fait que les concepteurs font face à des « wicked problems » (Rittel & Webber, 1973)² dans des situations complexes (Bayazit, 2004). Ils se sont notamment appuyés pour cela sur les travaux de Simon (1969), orientés sur la dimension cognitive des processus de conception. Ces problèmes sont uniques, ils ne peuvent pas faire l'objet d'une formulation définitive, ils n'impliquent pas de solutions de type « vrai ou faux » mais de type « meilleur ou pire » et ils font intervenir des compétences multiples (e.g. Darses, 2004). Cela a amené la seconde génération des Design Methods à chercher à rendre compte de ce que Simon (1976) a appelé la « rationalité procédurale » pour rendre compte du fait que « *concevoir est trouver une solution acceptable* ». Dans ces Design Methods, les ingénieurs appréhendent donc essentiellement l'activité de conception de nouveaux produits comme un processus de résolution de problèmes (Alexander, 1964; Pahl & Beitz, 1996; Smith & Eppinger, 1997), donc également comme un processus de décision. La méthode la plus citée est sans doute celle de Pahl et Beitz (1996), qui cristallise une approche très séquentielle et linéaire du processus de décision au cours de la conception. On repère en particulier l'idée d'une progression vers une spécification des concepts de solutions en prototypes de plus en plus détaillés³.

Par la suite, comme le préfigurait la deuxième génération de Design Methods, des approches s'intéressant aux processus de conception comme une activité sociale et collective apparaissent. Ces approches s'intéressent notamment à la dimension collaborative de la conception : comment distinguer conception distribuée et co-conception (Falzon, 1994), quelles « interdépendances » entre les tâches, comment se déroulent les confrontations et combinaisons de perspectives (Détienne, 2006)... L'activité de conception a également été conceptualisée comme une activité spécifique et indépendante d'une pratique académique. Schön, dans son livre *The reflexive practitioner* (1983), propose une approche scientifique de l'activité de design, qui considère qu'elle comporte sa propre épistémologie⁴. Pour cet auteur, le concepteur effectue un pilotage de l'activité par un constant ajustement à la situation en cours, ce qui exige une réflexion en cours d'action, qui n'est ni un réflexe automatique, ni une réflexion qui nécessite l'arrêt de l'action. Cela amène une itération entre une

² L'expression « *wicked problems* » est difficilement traduisible. Même si on parle généralement de « *problème flou* », Vial (2015) propose les termes « *problème malicieux* » ou « *problèmes épineux* » pour retranscrire l'idée des auteurs.

³ Pahl *et al.* (2007) précisent les sources et contenus d'une méthode de conception systématique de la manière suivante: « *Design Methodology is a concrete course of action for the design of technical systems that derives its knowledge from design science and cognitive psychology, and from practical experience in different domains. It includes plans of action that link working steps and design phases according to content and organisation. These plans must be adapted in a flexible manner to the specific task at hand. It also includes strategies, rules and principles to achieve general and specific goals as well as methods to solve individual design problems or partial tasks* »

⁴ Archer (1979) affirme ainsi : « *There exists a designerly way of thinking and communicating that is both different from scientific and scholarly ways of thinking and communicating, and as powerful as scientific and scholarly methods of enquiry when applied to its own kinds of problems.* »

observation et interprétation de la situation et la formulation et application de plans d'action qui en résultent directement. De plus, l'action est considérée « située ». Cette proposition de « réflexion en cours d'action » est à rapprocher d'une distinction faite en didactique professionnelle entre deux propriétés de l'activité: « *en agissant, un sujet transforme le réel (réel matériel, social, symbolique) ; mais en transformant le réel, il se transforme lui-même* » (Pastré, 2006). Dans son activité, il y a donc un couple inséparable entre une part productive (le travail agit sur le réel) et une part constructive (l'activité construit, dans son déroulement sur un empan de temps débordant l'action, des ressources pour changer)(Pastré, 2006; Rabardel, 2005; Samurçay & Rabardel, 2004).

Enfin, les approches les plus récentes tentent de combiner les précédentes. Elles proposent d'envisager la conception comme une co-évolution entre un espace structurel et un espace fonctionnel (voir Choulier, 2008). Le problème ne peut être défini qu'avec la proposition d'une solution, et les définitions du problème et de la solution se font, au cours du processus de conception, de manière conjointe. Les efforts actuels portent également sur la formalisation de théories de conception (Hatchuel et al., 2011) comme il existe des théories de la décision, visant à clarifier le concept de conception, qui reste débattu (Love, 2000), et son universalité.

Pour résumer, nous repérons que se sont succédées une approche prescriptive, une approche cognitive (de la résolution de problèmes), une approche de la conception comme une activité socio-cognitive spécifique, une approche de la conception comme coévolution (Choulier, 2008).

Dans l'ensemble, ces approches sont restées très focalisées sur ce que font celui ou ceux qui conçoivent. Cependant, il faut également rendre compte du fait que la place et le rôle de ceux qui vont utiliser les objets conçus par les concepteurs n'est pas restée complètement occultée. En effet, assez rapidement, notamment en lien avec l'éclosion des mouvements de démocratie participative des années 1970 dans les pays scandinaves, de nombreux travaux ont porté sur les démarches de conception participative (« *Participatory Design* »). Ces travaux prennent en compte la nécessité d'impliquer les utilisateurs cibles dans les processus de conception, et en explorent les aspects éthiques, méthodologiques et théoriques (Kensing & Blomberg, 1998). D'un point de vue éthique, la participation de l'utilisateur est vue comme un moyen d'éviter une introduction de nouvelle technologie comme un contrôle sur l'activité et non comme une amélioration des conditions de travail (e.g. Kyng & Mathiassen, 1980). D'un point de vue méthodologique, se pose la question de savoir comment organiser la participation. Cela a donné lieu à de nombreux travaux sur les méthodes de conception participative (e.g. Schuler & Namioka, 1993). D'autres travaux se penchent sur les aspects cognitifs et pratiques de l'intérêt d'intégrer les utilisateurs dans la conception. Certains voient la participation comme un moyen de gérer l'incertitude sur la diversité des usages que l'utilisateur associe à l'objet, comme c'est le cas dans le paradigme *user-centered design* (Kelley & Littman, 2004, cités par Brown, 2013). D'autres vont davantage reconnaître l'utilisateur comme un concepteur à part entière (Béguin & Cerf, 2004), et chercher à réorganiser les processus de conception en reconnaissant et favorisant les processus dialogiques à l'œuvre dans la participation de l'utilisateur.

Le détour par ces différentes théorisations de l'activité de conception nous permet ici d'identifier les dimensions sur lesquelles nous devons porter notre attention pour regarder l'activité de conception d'agriculteurs et d'agronomes :

- le rôle des dimensions sociales dans la compréhension des processus de conception ;
- le questionnement sur les connaissances pour la conception: spécifiques aux processus de conception ? scientifiques et appliquées à la résolution de problème dans le domaine concerné ? produite au cours du processus de conception ?;
- la nature du problème amenant le besoin de concevoir (défini ou complexe);
- l'activité de conception comme une activité qui à la fois transforme le réel (productive) et par laquelle les acteurs engagés développent leurs propres ressources pour changer (constructive) ;
- la place de l'utilisateur dans la conception : les usages connus ne doivent pas être pris en compte simplement pour améliorer la pertinence et l'efficacité de l'objet conçu. L'utilisateur joue un rôle à part entière dans le processus de conception, qui se continue dans l'usage ;
- les types d'évolution des définitions du problème et des solutions : des solutions globales déterminées au départ puis détaillées ? une co-évolution entre problème et solutions ?

1.3.2 Problèmes spécifiques posés par la conception de systèmes de culture

Dans le cas de la conception des systèmes de culture, des particularités peuvent être repérées en ce qui concerne les quatre derniers points de la conclusion ci-dessus: les problèmes amenant à concevoir relèvent de la complexité du vivant ; les multiples temporalités à prendre en compte dans la conception conditionnent les relations entre activité productive et activité constructive ; l'agriculteur est lui-même concepteur dans son activité ; et le système de culture comme objet conçu mais également comme processus décisionnel est une solution en évolution constante. Je détaille ici les problèmes spécifiques qui amènent ces propriétés.

1.3.2.1 Des objets vivants, insérés dans des environnements dynamiques

Une particularité notable des objets conçus dans le monde agricole est que beaucoup d'entre eux sont vivants ou comprennent des systèmes vivants (des variétés, des races, des systèmes de culture, des paysages...(Prost et al., en révision). Le processus de conception doit donc prendre en compte les dynamiques impliquées par la flexibilité et l'adaptabilité de tels objets. L'état des systèmes considérés évolue, d'une part, indépendamment des actions de l'agriculteur, sous l'effet des conditions climatiques notamment, d'autre part, sous l'effet des actions de l'agriculteur. Pour décrire cela, Samurçay et Rogalsky (1992) parlent d' « *environnements dynamiques* », dont l'une des caractéristiques majeures « *est que : agir ou ne pas agir a des conséquences sur le système* » (Plat, 2001). Il est donc nécessaire de prendre en compte autant que possible les évolutions spontanées des états du système dans la manière d'envisager l'effet de l'action anthropique (e.g. les couverts gélifs, associés ou en interculture, n'auront ni les mêmes efficacités pour les fonctions qu'on en attend, ni la même réaction aux techniques culturales pour leur destruction, selon la date, l'intensité et la durée des gelées). Les processus sur lesquels l'agriculteur agit ne peuvent donc pas être considérés comme statiques, ce qui implique, comme le rappelle Sebillotte (1990), que toute activité

visant à transformer un système de culture part d'une situation donnée et en évolution, ce qui impose de fournir les maillons pour sa transformation vers une situation visée. Lorsqu'un système évolue, « *il subit des modifications plus ou moins profondes dans le temps, tout en conservant une certaine permanence* » (Walliser, 1977, cité par Gras et al., 1989). Concevoir, pour un agriculteur, c'est donc partir d'un système existant, déjà mis en œuvre, pour arriver à un système nouveau via la mise en œuvre de changements techniques plus ou moins nombreux et synchrones.

Ce premier problème se pose d'ailleurs non pas seulement dans le cas des systèmes de culture, mais pour la majorité des activités de conception dans le domaine agricole.

1.3.2.2 Des échelles de temps multiples à combiner

D'une manière générale, l'action effectuée au sein d'un système de culture concerne à la fois une échelle de temps courte, déterminée par les fluctuations rapides des états du milieu et les aléas peu prévisibles (e.g. climatiques) qui conditionnent le choix des moments appropriés pour agir, et une échelle de temps bien plus longue, caractéristique de l'évolution lente des états du système qu'elle peut engendrer (Sebillotte & Cerf, 1997). Par exemple, l'humidité d'une parcelle déterminera si une action culturale est possible à l'échelle de la semaine voire du mois, alors que la teneur en matières organiques du sol conditionne, à l'échelle de la campagne culturale, les conditions de croissance des cultures, mais répond surtout à l'accumulation des effets des pratiques de gestion du sol et des résidus de culture à l'échelle pluriannuelle. Autrement dit, considérer la pratique au sein d'un système de culture, c'est prendre en compte les effets potentiels qu'elle va avoir aussi bien à court-terme qu'à long-terme. Dans l'étude des pratiques des agriculteurs, Landais et Deffontaines (1988) distinguent trois temps de la pratique : i) la durée de l'activité d'application, ii) la durée de rémanence des effets, et iii) la durée de mise en œuvre, c'est-à-dire la période (sur plusieurs campagnes) pendant laquelle l'agriculteur conserve la pratique dans son répertoire d'actions possibles et l'utilise. Ceci est à mettre en relation avec les propriétés productive et constructive de l'activité, exposées dans le paragraphe précédent, dans le sens où les temps de l'action productive se superposent particulièrement peu avec les temps de son interprétation et du constat de ses effets. Les décalages peuvent être longs (notamment par rapport aux actions faisant partie d'un procédé industriel par exemple), conditionnés par les durées de réponses du système aux actions. En effet, même s'ils peuvent être en partie connus, les effets à long terme des pratiques et leur rémanence après l'arrêt de ces pratiques doivent être au mieux anticipés pour la décision, mais sont souvent peu mesurables avant d'avoir à prendre d'autres décisions.

1.3.2.3 Une nécessaire autonomie des processus de conception localisés

La conception d'un système de culture nécessite de tenir compte des spécificités d'un contexte agricole local. Les propriétés d'un système de culture, dans un environnement donné, dépendent en effet *a minima* du contexte pédo-climatique. Par exemple, une même combinaison de pratiques culturales pour la gestion d'adventices (faux-semis, désherbage mécanique, choix de variétés couvrantes) ne permettra pas d'aboutir aux mêmes résultats, selon le type de sol sur lequel elle est appliquée, celui-ci réagissant de manière contrastée aux passages des mêmes outils et conditionnant la dynamique de croissance des espèces cultivées ainsi que des adventices (e.g., un passage de herse étrille pour désherber une orge impacte de manière variée la dynamique de croissance de la céréale,

et donc la compétition avec les adventices, selon qu'on est sur un sol de limons profonds ou un sol crayeux). Cela paraît évident au sens agronomique, mais au sens de la conception, cela implique que la conception d'un système de culture doit toujours inclure une réflexion sur l'adaptation d'un projet technique (combinaison et mode d'application des techniques) à sa mise en œuvre dans une situation particulière.

De plus, outre les facteurs environnementaux, l'action de l'agriculteur est conditionnée par ses contraintes socio-économiques (e.g. l'organisme de collecte qui limite le choix de variétés pour une culture donnée), matérielles et d'organisation du travail. C'est en partie ce qui a amené les agronomes à distinguer la *technique* de la *pratique* pour parler de l'action de l'agriculteur au sein d'un agroécosystème (Deffontaines & Landais, 1988; Milleville, 1987). "*Si les techniques peuvent être décrites indépendamment de l'agriculteur qui les met en œuvre, il n'en est pas de même des pratiques qui sont liées à l'opérateur et aux conditions dans lesquelles il exerce son métier*" (Milleville, 1987). La pratique reflète un processus de décision et d'adaptation de l'action à un contexte particulier dans l'espace et dans le temps.

Ainsi, si l'activité de conception de l'agronome vise un ensemble coordonné de techniques, elle ne peut correspondre directement à l'activité de conception de l'agriculteur qui met en application des pratiques dans une situation particulière. L'objet de la conception est donc spécifique dans le sens où il impose qu'une part au moins de l'activité de conception soit située. Les agronomes doivent-ils alors concevoir des ensembles de techniques les plus facilement et efficacement applicables dans les situations particulières ? Ou bien fournir aux agriculteurs les moyens et ressources pour qu'ils réalisent eux-mêmes une activité de conception faisant évoluer leurs pratiques ?

1.3.2.4 Un objet qui évolue selon un système englobant, de manière peu prévisible

La conception d'un système de culture ne peut être vue comme la conception d'un objet qui sera inséré dans un système plus large, englobant, comme ce pourrait être le cas pour la conception d'un composant d'ordinateur dont les interactions d'entrée et de sortie sont fixées par un plan préétabli. Les interactions entre le système de culture et son environnement (biophysique mais aussi socio-économique) sont nombreuses et imprévisibles (e.g. aléas climatiques). La conception peut alors, première possibilité, s'appuyer sur une prise en compte de l'imprévisibilité par une recherche des caractéristiques du système qui lui fournissent une résilience (définie comme la capacité d'un système à se réorganiser pour retrouver sa structure et son fonctionnement initiaux après une perturbation), ou une flexibilité (définie comme la propriété du système agricole qui lui permet d'absorber des changements dans son environnement). Ces deux concepts sont par exemple mobilisés par Dedieu et Ingrand (2010) pour l'analyse des dynamiques des systèmes d'élevage. Une deuxième possibilité est de s'appuyer sur des processus d'adaptation constante du système, que réalise notamment l'agriculteur.

Cette liste de spécificités de la conception de systèmes de culture n'est certes pas exhaustive, mais nous amène à souligner les principales questions qui se posent pour cette activité. En particulier, les deux dernières questions qui ont été abordées ici insistent sur l'autonomie du processus de conception, au moins en partie, et sur son caractère adaptatif et continu. Cela m'amène à mieux préciser ce que sont les activités de conception des agronomes, d'une part, et des agriculteurs, d'autre part.

1.3.3 Comment les agronomes abordent les processus de conception?

La conception est très présente, et depuis longtemps, dans les travaux des agronomes qui participent à faire évoluer les objets et modes de gestion mis en jeu dans les pratiques agricoles (Berthet, 2013). Une partie d'entre eux ont commencé à formaliser ce que sont les processus de conception de systèmes de culture, et les positionnements qu'ils adoptent par rapport à ces processus. J'essaie de montrer ainsi comment les agronomes tiennent compte des spécificités déclinées dans le paragraphe 1.3.2.

J'ai déjà évoqué le fait que l'agronomie, considérée comme une science ingénierique, a toujours géré, même implicitement, des problématiques liées à la conception. Récemment, la conception y a pris un essor particulier, et notamment très en lien avec l'innovation, dans le sens où elle est explicitement liée au renouvellement des enjeux et donc des finalités désirées des systèmes de production. Ainsi, on trouve une littérature abondante concernant les questions liées aux processus d'innovation d'une part, et à la conception de systèmes innovants d'autre part. Meynard et Durmad (2014) distinguent 4 postures que les agronomes peuvent adopter par rapport aux processus d'innovation : i) « être à l'origine de l'invention, qui, une fois diffusée, appropriée, utilisée, deviendra une innovation » ; ii) « proposer aux acteurs des outils et méthodes pour innover par eux-mêmes [...], ou pour adapter à leur propre situation des innovations exogènes » ; iii) « contribuer à identifier, analyser, améliorer et promouvoir des innovations conçues par des acteurs de terrain » ; et iv) « aider à anticiper les effets économiques, sociaux et environnementaux des innovations, les conditions de leur diffusion et les conséquences de celles-ci sur les performances de l'agriculture et de l'élevage, à différentes échelles ». Les deux premières postures amènent les agronomes à s'intéresser en particulier aux processus de conception.

Meynard et al. (2006) affirment – concernant les « systèmes agricoles innovants » - que « concevoir des systèmes agricoles suppose bien sûr de s'appuyer sur des connaissances spécialisées produites en amont, mais surtout d'acquérir une vision globale, organisée et hiérarchisée des interactions entre les actes gestionnaires et de leurs conséquences agronomiques, économiques, écologiques, sociales et territoriales ». Dans le cas du système de culture, la conception vise alors à envisager des formes nouvelles d'organisation des objets et actes techniques prenant en compte ces interactions pour permettre l'obtention des performances attendues ce qui appelle à renouveler de manière profonde les pratiques. Ceci amène les agronomes à raisonner des processus de conception « innovante » plutôt que de conception « réglée ». Cette distinction, proposée par les sciences de gestion (Le Masson et al., 2006), renvoie à la façon dont les problèmes et solutions sont définis et évoluent. En conception réglée, les objectifs sont complètement définis dès le début du processus, et ne changent

pas, ce qui permet de déterminer à l'avance les méthodes et outils mobilisés pour l'évaluation des résultats de la conception. En conception innovante, au contraire, les attentes ne sont pas complètement fixées au départ et les objectifs évoluent en cours de conception, ce qui empêche de spécifier, dès le départ, les domaines de connaissances qui vont être explorés pour la conception⁵. Certains agronomes invoquent la nécessité d'une conception innovante en agronomie (Meynard et al., 2012), en raison à la fois de la diversité et de l'hétérogénéité des nouveaux objectifs (non plus seulement économiques et agronomiques mais aussi environnementaux et sociaux) qu'il faut prendre en compte dans la conception, de la nécessaire exploration de domaines de connaissances variés (sociologique et ergonomique pour prendre en compte les transformations du travail de l'agriculteur, mais aussi écologique), et de la diversification des critères d'évaluation des inventions (s'ajoutent des critères environnementaux, sociaux, d'adaptabilité). Nous retenons en particulier de ce positionnement dans une approche de conception innovante qu'il appelle directement les agronomes à mener une réflexion sur les ressources à explorer et à développer pour permettre et accompagner la conception.

Un deuxième ensemble de travaux en agronomie insiste sur la nécessaire participation des acteurs concernés par les inventions aux processus de conception, dès leurs premières étapes, que ce soit pour la conception d'outils d'aide à la décision (Cerf et al., 2012; Prost, 2008), ou de systèmes d'exploitation (Dogliotti et al., 2014). Des méthodes participatives sont ainsi développées pour prendre en compte les usages dans le processus de conception. Cerf et al (2012) proposent une démarche de conception d'outil d'aide à la décision qui allie à la fois une phase de diagnostic des usages (en complément d'un diagnostic agronomique) des points de vue cognitif (comment les usagers se représentent le problème), fonctionnel (pourquoi et comment les usagers utilisent les outils pour prendre des décisions), et opérationnel (quelles contraintes sont rencontrées pour utiliser l'outil efficacement), et une phase de travail collectif autour d'un prototype d'outil. Cette approche *dialogique* d'une démarche participative de conception vise à mieux intégrer l'usage en situation à la fois dans le développement des objets conçus, mais aussi dans les cadres théoriques de la conception que les agronomes mobilisent et construisent.

Enfin, les agronomes diversifient les méthodes et organisations des processus de conception avec l'objectif qu'ils participent effectivement à l'évolution des pratiques réelles des agriculteurs. En particulier, deux manières de concevoir sont distinguées par les agronomes, la conception *de-novo* et la conception *pas-à-pas*, qui varient à la fois selon la proximité aux pratiques de l'agriculteur, et selon la prise en compte des faisabilités dans les situations particulières. En conception *de novo*, aucune contrainte liée à la mise en application et à la transition qu'elle requiert entre son système présent et le système futur, n'est prise en compte dans un premier temps. Cela permet d'aboutir à des

⁵ La distinction peut aussi être reliée à celle faite entre exploitation et exploration (March, 1991) :« *Exploration is about discovering new opportunities by searching, identifying, and garnering competencies through critical reflection, or double-loop learning. Exploration behaviors are associated with a range of terms, including search, discovery, experimentation, risk taking, and radical innovation. In contrast, exploitation extends and refines an organization's existing competencies through repeated actions that follow trial and error patterns, or single-loop learning. Exploitation is about harnessing "old certainties," and it instigates behaviors that can be characterized with labels such as refinement, implementation, efficiency, production, selection, and incremental change.* »

systèmes en rupture avec l'existant, et de ne pas brider la créativité des concepteurs ni la diversité des alternatives explorées (Bos et al., 2009; Meynard et al., 2012; Reau et al., 2012). Ces travaux sont parfois basés sur l'utilisation de modèles agronomiques de fonctionnement des cultures, ou de systèmes de culture pour la mise au point de prototypes (e.g. Boote et al., 1996; Dogliotti et al., 2005; McCown et al., 1996a). Au contraire, en conception *pas-à-pas*, c'est la transition progressive à partir d'une situation initiale qui est au cœur des travaux. Un diagnostic initial permet d'identifier des points clés du système à améliorer pour atteindre les objectifs visés, et de proposer des changements qui sont mis en œuvre ; la nouvelle situation est évaluée non plus pour sélectionner les alternatives, mais pour corriger les points faibles selon des boucles répétées d'apprentissage et d'amélioration (Meynard et al., 2006). Partant d'une situation initiale « problème » à spécifier, le processus ne vise pas à atteindre un système de culture dont on connaît à l'avance les composantes techniques et décisionnelles, ainsi que les règles de leur organisation. Il vise à obtenir et maintenir certaines fonctions au sein du système, qui sont supposées assurer sa robustesse et son adaptabilité. Pour cela, une succession de buts s'organise tout au long du processus. Les avantages et les inconvénients qui sont perçus dans les deux types de démarches sont résumés dans le Tableau 1.

Tableau 1: Comparaison des démarche de conception *de novo* et *pas-à-pas*, d'après Meynard et Dourmad 2014, Meynard et al. 2012.

	Conception de novo	Conception pas-à-pas
Principe	Invention d'un système en rupture avec l'existant	Evolution progressive d'un système existant
Avantages	Exploration de solutions très innovantes ; Source d'inspiration pour le <i>pas-à-pas</i> ;	Apprentissage progressif des nouveaux systèmes ; Adaptation aux contraintes spécifiques des contextes d'application ;
Risques	Faible réalisme	Conservatisme

Dans les deux types de démarches, les agronomes ont en général proposé une progression par étapes (Dogliotti et al., 2014; Loyce & Wery, 2006). A partir d'un diagnostic des éléments à améliorer ou bien d'un cadre fixé d'objectifs et de contraintes, des alternatives sont imaginées puis évaluées pour décider d'améliorations à apporter ou de la mise en application. L'usage de modèles de simulation des cultures ou des systèmes de culture est aussi très répandu dans la conception *de novo*, dans la mesure où les simulations permettent une exploration large des prototypes possibles et de leurs performances et impacts à long terme, dans une grande variabilité de situations pédoclimatiques (Constantin et al., 2012; Keating & McCown, 2001; e.g. Rossing et al., 1997; Tixier, 2004). D'autre part, ces deux types de démarches ne sont pas à opposer de manière stricte. Elles sont deux pôles extrêmes, entre lesquels d'autres méthodes intermédiaires existent. Néanmoins les études sur les transitions dans le monde agricole montrent qu'elles reposent, dans la réalité des exploitations agricoles et des territoires, sur des trajectoires de changement qui s'étalent sur un temps long (Bellon & Lamine, 2009; Lamine, 2015; Wilson, 2008). Ces trajectoires impliquent une

succession de changements techniques mis en œuvre par les agriculteurs, qui mettent en jeu des configurations de styles d'apprentissages variés (Chantre, 2011; Chantre & Cardona, 2014). De telles trajectoires situent les processus de conception à l'œuvre dans le registre de la « conception *pas-à-pas* ».

Ce rapide panorama de la manière dont les agronomes formalisent leurs travaux liés à la conception de systèmes de culture montre bien qu'une tension apparaît entre la nécessité d'aboutir à de forts niveaux de rupture avec des pratiques existantes, de façon à répondre aux multiples objectifs de performances attendues, et celle de conserver un réalisme quant à la possibilité et aux manières de réaliser les transitions qu'exige la mise en œuvre de combinaisons de techniques envisagées sans prendre en compte l'ensemble des contraintes liées à leur mise en application dans une situation particulière. Dans la suite, je m'intéresse en particulier à la re-conception *pas-à-pas*.

1.3.4 Les spécificités de la re-conception *pas-à-pas* des systèmes de culture basés sur des principes agroécologiques

Dans ce paragraphe, j'analyse de manière plus précise les caractéristiques des activités de conception dans le cas d'une évolution vers la mise en application de principes agroécologiques. Ce sont ces activités qui m'intéresseront dans la suite de cette thèse.

Je cherche ici à établir les principales implications d'une orientation des processus de re-conception vers la mise en œuvre de principes agroécologiques. Je fais ici référence aux approches agroécologiques qui concernent les échelles de la parcelle, de la ferme ou du paysage local même si, comme l'affirment certains auteurs (Francis et al., 2003; Gliessman, 2007), un élargissement des échelles jusqu'aux systèmes alimentaires peut être nécessaire. Un premier principe agroécologique partagé dans la littérature est celui de la mobilisation de processus naturels qui ont lieu ou pourraient avoir lieu au sein de l'agroécosystème (Altieri & Toledo, 2005): le recyclage des nutriments, la fixation biologique de l'azote, les régulations biologiques de ravageurs, etc (Wezel et al., 2014). Biggs et al. (2012) identifient d'autres principes agroécologiques : i) le maintien d'un niveau suffisant de diversité et de redondance dans les fonctionnalités des composantes du système, ii) le maintien d'un niveau suffisant de connectivité écologique, et iii) la gestion des variables lentes (e.g. le taux de matières organiques du sol, comparé à la variable rapide de la teneur en azote minéral) et des régulations. Bonaudo et al (2014) proposent également six principes, parmi lesquels ils distinguent ceux de type écologique – i) la diversité et l'hétérogénéité dans les formes d'occupation des sols et dans les composantes biotiques et abiotiques, ii) la maximisation des interactions écologiques ou basées sur les facteurs de production - et ceux qui relèvent de la gestion – iii) considérer les fonctions de production, immune, et métabolique simultanément pour préserver l'intégrité fonctionnelle de l'agroécosystème, iv) boucler les cycles de matière et d'énergie en minimisant les pertes de nutriments et en substituant les intrants chimiques par des intrants naturels, v) optimiser la disponibilité en nutriments pour les plantes et animaux, notamment dans le temps, et vi) développer des gestions collectives à l'échelle du paysage, en intégrant les éléments semi-naturels.

Ces principes, dans leur diversité, donnent lieu à des consensus partiels sur les fonctions attendues des pratiques agricoles qui en découlent (Altieri, 1999; Duru et al., 2015; Kremen et al., 2012): un accroissement de la biodiversité planifiée (i.e. successions culturales, intercultures, mélanges d'espèces et de variétés), associée (i.e. correspondant aux éléments semi-naturels de l'exploitation), et à l'échelle du paysage (Altieri, 1999; Duru et al., 2014; Médiène et al., 2011), pour favoriser les interactions de facilitation et de compétition entre plantes et gérer les ravageurs au sein de réseaux trophiques complexes (Bonaudo et al., 2014; Malézieux, 2012); limiter les perturbations physiques et chimiques du sol pour conserver une teneur élevée en matières organiques ; organiser des matrices paysagères favorisant les régulations biologiques.

Bien sûr, ces principes et fonctions ne sont pas suffisamment spécifiés et déterminés pour qu'une déduction directe de ce que sont des pratiques agroécologiques soit possible. Cependant, ils nous suffisent ici pour introduire les dimensions particulières des processus de re-conception *pas-à-pas* vers des systèmes de culture agroécologiques. Je les explore ici.

1.3.4.1 La nécessité de prendre en compte une multiplicité d'échelles spatiales et temporelles est accentuée :

Dans ces processus de re-conception, la nécessité d'agir dans des temps courts, en tenant compte d'enjeux qui s'étalent sur des temps plus longs, reste évidemment présente. Mais la mise en place de processus naturels s'étale elle-même sur des temps variés et souvent incertains. Par exemple, les dynamiques d'établissement des populations d'auxiliaires déterminent l'efficacité qu'elles auront à contrôler une infestation de ravageurs, et elles sont conditionnées par une diversité de facteurs (en partie seulement contrôlables par l'agriculteur) qui ne permettent pas de prévoir une durée précise. D'autre part, les processus de régulation mobilisés dans les pratiques de l'agriculteur peuvent être davantage sujets à des perturbations sur des très courtes échelles de temps, ce qui se réfère à l'opposition que Briggs et al. (2012) proposent entre les « variables lentes » et les « variables rapides ».

De même, concernant les échelles spatiales, le fait de mobiliser des processus naturels nécessite de prendre en compte comment les interactions entre les « mailles » (Gras et al., 1989) que délimitent habituellement les agronomes conditionnent l'évolution du système. Pour garder le même exemple, l'effet d'une population d'auxiliaires dans une parcelle dépend des habitats et ressources qu'elle trouve dans, mais aussi à proximité de la parcelle (dans les haies, bandes fleuries et enherbées). La pratique de l'agriculteur peut en partie seulement agir sur ces interactions et les composantes qui les engagent (e.g. les éléments semis naturels dans et hors parcelles). Cela implique que le processus de re-conception doit de toute manière prendre en compte les ressources et contraintes particulières de l'environnement local (Horlings & Marsden, 2011). Ces spécificités de l'environnement local sont d'autant plus décisives qu'elles ne sont pas uniformisées ou réduites pour l'utilisation d'intrants chimiques (Eviner & Hawkes, 2008). C'est ce que Bell et al. (2008, cités par Berthet et al., 2015) expriment en disant que l'agroécologie consiste à « travailler *avec* les variations dans l'espace et le temps, plutôt que *contre* elles ».

1.3.4.2 La mobilisation de nouveaux objets techniques et naturels:

Les pratiques qui visent à appliquer des principes agroécologiques mobilisent une plus large diversité d'objets naturels que celles classiquement utilisées dans les systèmes conventionnels. Le terme « mobiliser » est ambivalent ici, parce que ces objets sont soit directement impactés ou manipulés par l'agriculteur (e.g. une espèce végétale pour un couvert d'interculture ou une bande enherbée, les communautés bactériennes impliquées dans la fixation symbiotiques des espèces légumineuses), soit indirectement dans la mesure où ils interviennent dans un processus que l'agriculteur met en place, consciemment ou non (e.g. un auxiliaire non apporté volontairement). Ces objets ne sont pas toujours « nouveaux », mais l'agriculteur y porte une attention renouvelée et en attend des fonctions spécifiques (e.g. la micro- et macro-faune du sol). Or pour une grande partie de ces objets, les modes d'action sur les variables du système, ainsi que les réactions possibles aux actions de l'agriculteur, ne sont pas suffisamment connus pour pouvoir anticiper des types de fonctionnement univoques.

Il apparaît ainsi que l'action de l'agriculteur qui met en application des changements techniques pour re-concevoir pas-à-pas un système de culture vers l'agroécologie est nécessairement soumise à de multiples incertitudes : il est difficile de prévoir les effets des pratiques, compte tenu de l'incomplétude des connaissances sur les objets mobilisés et les processus naturels dans lesquels ils interviennent (Duru et al., 2015; Williams, 2011); les dynamiques mises en jeu sont également très contingentes des fluctuations du climat ; les nombreuses interactions au sein du système sont à l'origine d'effets non-intentionnels des pratiques qui sont moins maîtrisés que lorsque les pratiques mobilisent des intrants dont les modes d'action sur le système sont spécifiques (e.g. herbicides sélectifs).

Les spécificités des processus de re-conception *pas-à-pas* exposées dans ce paragraphe sont des déductions provenant à la fois d'un type de démarche de conception proposé par les agronomes mais aussi des paradigmes de l'agroécologie. Ils amènent également à mieux définir l'activité de re-conception que je vais étudier, et préciser ce qu'est l'action de l'agriculteur dans ce cas.

1.4 Qu'est-ce que l'action de l'agriculteur dans ces processus de re-conception pas-à-pas?

Avant même que l'agroécologie et les pratiques auxquelles elle donne lieu ne soient discutées par les agronomes, des travaux pluridisciplinaires avaient cherché à éclairer la façon dont un agriculteur agit. Les plus connus portent sans doute sur la planification dans l'activité décisionnelle des agriculteurs, c'est-à-dire la possibilité de planifier pour agir, et le rôle de cette planification dans l'action de l'agriculteur. Le « modèle d'action » (Cerf & Sebillotte, 1988; Sebillotte & Soler, 1990) est une formalisation des processus de décision techniques de l'agriculteur depuis longtemps mobilisée en agronomie (Papy, 1998). Un modèle d'action contient :

- un ou plusieurs objectifs généraux qui définissent le terme vers lequel convergent les décisions de l'agriculteur ;
- un programme prévisionnel et des états objectifs intermédiaires qui définissent des points de passage obligés et des moments où l'agriculteur pourra faire des bilans pour mesurer où il en

est de la réalisation de ses objectifs généraux (se trouvent ainsi fixés des indicateurs qui serviront aux décisions);

- un corps de règles de décision qui, en vertu d'un champ d'événements perçus comme possibles par l'agriculteur, définit pour chaque étape du programme, la nature des décisions à prendre pour parvenir au déroulement souhaité des opérations et la nature des solutions de rechange à mettre en œuvre si, à certains moments, ce déroulement souhaité n'est pas réalisable (Duru et al. 1988; Sebillotte et Soler 1990; Papy 1998).

Le modèle d'action introduit donc l'idée d'une planification des actions en vue de l'atteinte d'objectifs partiels. Chaque étape fait l'objet d'un contrôle, avec la mobilisation d'informations spécifiques qui permettent à l'agriculteur de décider des actions suivantes en fonction d'un ensemble de règles de décisions. Le processus de décision est donc formalisé en un plan accompagné de règles adaptatives. Ainsi, Papy (1998) affirme que « *les décisions portant sur la gestion des systèmes techniques ne sont pas prises à la dernière minute : elles sont organisées d'avance selon des plans que l'agriculteur est plus ou moins capable d'explicitier.* » Le découpage dans le temps et dans l'espace de l'organisation de la décision serait ce qui permet à l'agriculteur de traiter les incertitudes auxquelles il doit faire face.

Cependant, plusieurs limites peuvent être signalées, remettant en cause cette hypothèse de planification hiérarchisée des actions lorsqu'on s'intéresse à des situations de changement technique. Premièrement, on retrouve derrière cette formalisation une approche Simonienne de l'action comme processus de résolution de problème, avec un ensemble de moyens techniques connus et mobilisés au fur et à mesure du processus. L'hypothèse est faite que l'agriculteur possède des « plans d'action » au sens de Hoc (1987). Ces plans contiennent des éléments déclaratifs pour déclencher les procédures, et ont à la fois des fonctions d'anticipation et de réduction de la complexité de la tâche (i.e. ont une fonction heuristique⁶). Or dans le cas de situations de changements techniques, nous ne pouvons faire l'hypothèse que de tels plans préexistent à la réalisation de l'action. Ainsi, les règles de décision, censées adapter l'action en fonction des informations collectées par l'agriculteur sur les états du système ne peuvent pas être prévues pour toutes les situations qui peuvent être rencontrées. D'autre part, les connaissances ne sont pas disponibles pour fournir tous les indicateurs nécessaires aux règles de décision. Aussi, ce modèle repose sur une vision de l'agriculteur considéré comme un système de recueil et de traitement d'informations. Or, comme le rappellent Cerf et Meynard (2006), « *l'action n'est pas réductible à la décision et les ressources disponibles pour agir ne sont pas qu'informationnelles* ». Les théories et courants de l'action et de la cognition située (Hutchins, 1995; Suchman, 1987) proposent une approche beaucoup plus adaptative de la décision, et affirment que la connaissance est créée au cours de l'action en situation. Le déroulement de l'action est fortement déterminé par la situation elle-même, et sa planification *a priori* a un poids très faible face à l'émergence d'une stratégie réalisée au cours de l'action. Dans le cas de l'application de principes agroécologiques, telle que nous l'avons précisée plus haut, cette approche adaptative de l'action de l'agriculteur semble mieux

⁶ Cerf (1994) rapproche ces plans, structures schématiques et opératives, des images opératives au sens d'Ochanine (1978), c'est-à-dire une représentation qui vise moins une fidélité à la réalité qu'une mise en relief des dimensions pertinentes pour, et mobilisées dans, l'action.

adaptée. En effet, les logiques d'action du type "*command-and-control*"⁷ (Holling & Meffe, 1996) ne sont plus envisageables. On admet pour cela qu'il faut passer d'une gestion du risque à une gestion en situations d'incertitude, et parfois d'ignorance concernant la nature et le futur des ressources mobilisées par les systèmes agricoles (Blackmore, 2007, citée par Girard, 2014). Girard (2014) propose également de reprendre la gestion adaptative (Schreiber et al., 2004) comme approche conceptuelle de l'action dans ces situations. Elle est définie comme un processus itératif visant à réduire l'incertitude par un monitoring constant de la situation. Le concept de gestion adaptative vise en particulier à prendre en compte les connaissances acquises par et dans la pratique.

Je considère donc que l'action de l'agriculteur dans un processus de re-conception *pas-à-pas* de système de culture diffère de l'élaboration d'un plan constitué de règles de décision et des états et points de contrôle du système géré. Comme le rappellent Cerf et Meynard (2006), « *toute action de transformation des processus agroécologiques est précédée par une étape de préparation de l'action* », qui comporte à la fois des dimensions matérielles et immatérielles. Mais les suggestions faites par le paradigme de la gestion adaptative invitent à prolonger, au-delà de la réalisation de l'action « préparée », l'empan de temps sur lequel il convient d'appréhender l'action. Le suivi de l'action se réfère notamment à la prise en compte des propriétés émergentes de la situation, car comme le rappelle Clot (2008) « *l'action dépassant les résultats escomptés par le sujet à travers même des buts accomplis, débouche sur une situation inattendue : la découverte d'un nouveau but possible ignoré jusque-là, la reconnaissance d'autre chose qui serait réalisable au travers et au-delà de ce qui vient de se réaliser, l'identification de possibilités insoupçonnées dans le réel dont l'activité peut se saisir* ». Cela renforce l'intérêt de considérer que l'action intègre les niveaux de décision opérationnel, mais aussi tactique et stratégique. Ces distinctions sont souvent mises en relation avec la diversité des échelles de temps à prendre en compte, l'opérationnel concernant un temps court lié à la mise en application d'une pratique au cours d'une campagne, le tactique un temps lié à la coordination de décisions techniques au sein d'une campagne de culture, et le stratégique aux choix réalisés à l'échelle annuelle, voire pluriannuelle (Sorensen et al., 2010). Outre ces relations au temps, l'intérêt pour moi de ces niveaux de décision est de regarder l'action à la fois dans sa mise en œuvre (opérationnel), dans une construction de raisonnement agronomique sur la cohérence de l'action et aux états prévus et constatés du système (tactique), et dans la diversité des objectifs (ainsi que leur reformulation) qui l'orientent (stratégique). Ainsi, si l'action pour un changement ne peut se réduire à la mise en œuvre d'une action physique dans une situation unique, l'étudier nécessite de prendre en compte l'ensemble des situations qui mettent en jeu les différents niveaux de décision, la préparation et le suivi de l'action. Confronté à cela, Gagneur (2010) propose de prendre en compte

⁷ Ces logiques sont basées sur les principes d'efficacité, de constance, de prédictibilité. Selon Holling et Meffe (1996), elles peuvent mener à perdre de vue l'objectif original et s'isoler de la gestion des ressources : « *[Through] initial success with command and control, [resource management agencies] lose sight of their original purposes, eliminate research and monitoring, and focus on efficiency of control* ».

des « séries de situations regroupant les situations systématiquement observées en association »⁸, qui rassemblent des situations de travail téléologique et les situations d'action productive en parcelle. Il démontre dans son étude portée sur les viticulteurs d'une même coopérative, que l'analyse du changement nécessite de faire porter le recueil de données non seulement sur les actions réalisées dans les parcelles, mais également sur les situations de rencontre entre viticulteurs, qui comportent des discours sur la pratique. Cela suggère une extension de la situation que l'on appelle « situation de re-conception » au-delà des contextes de l'action physique dans les parcelles.

Conclusion 1

J'ai cherché jusqu'ici à montrer comment l'objet très général des dynamiques de changement agricole peut être spécifié de manière cohérente pour aboutir à l'étude en particulier des processus de re-conception *pas-à-pas* des systèmes de culture par des agriculteurs s'orientant vers des formes d'agroécologie. Dans ce cadre, j'ai proposé, d'une part, un éclairage sur ce qu'est la conception et la manière dont les agronomes l'ont envisagée jusqu'ici, et, d'autre part, ce que cela permet d'instruire sur les particularités de l'action de re-conception de systèmes de culture basée sur l'application de principes agroécologiques. Dans la suite, j'interroge plus en détail l'aspect d'« outillage » de la re-conception : Quelles ressources produisent les agronomes pour permettre ces activités de re-conception ? Comment doit-on les aborder pour permettre leur renouvellement ou leur adaptation éventuellement nécessaire ?

2 QUELLES RESSOURCES PRODUISENT LES AGRONOMES POUR OUTILLER CES PROCESSUS DE RE-CONCEPTION ?

La description faite des processus de conception ou re-conception (nous avons vu que les théorisations en dehors du domaine de l'agronomie ne différencient pas souvent les deux) à la fois du point de vue de leur formalisation par les agronomes, et de celui de l'action des agriculteurs, nous permet maintenant de questionner les ressources que les agronomes proposent pour les équiper. Mon objectif est en effet celui d'un agronome qui cherche à apporter aux agronomes des pistes et moyens pour qu'ils puissent outiller les processus de re-conception *pas-à-pas*. J'aborde cette question des ressources en essayant d'abord d'explorer la diversité des outils et méthodes proposées par les agronomes (2.1). Cette partie fera écho au paragraphe 1.3.3, puisque la séparation faite dans ce texte entre les démarches de conception des agronomes et les ressources qu'ils produisent pour ces processus est un peu artificielle. Ensuite, pour ne pas en rester à une opposition de types d'outils, je m'appuie sur les spécifications de l'action, présentées plus haut, pour réinterroger ces ressources et me centrer sur les connaissances qu'elles intègrent (2.2). Ce décalage vers les connaissances me permet d'ouvrir vers une question qui est au centre de ma thèse : comment travailler le fait qu'une

⁸ Il distingue bien ces « séries de situations » de ce que Vergnaud (1990b) appelle « classes de situations », qui sont des ensemble de situations qui ont en commun suffisamment de caractéristiques (« invariants ») pour être abordée avec un même ensemble organisé de connaissances.

connaissance développe ou non la capacité de l'agriculteur à poursuivre son action de changement technique ?

2.1 Des outils destinés majoritairement à la conception de novo

Dans une démarche explicite d'équiper la conception et l'évaluation des systèmes de culture, les agronomes ont produit différents outils et méthodes.

La méthode du diagnostic agronomique (Doré et al., 1997) en est une première illustration. Visant à identifier et hiérarchiser les variables locales du fonctionnement d'un agrosystème qui expliquent l'obtention d'une performance donnée, en vue de sélectionner les facteurs prioritaires dans l'amélioration de ce système, le diagnostic agronomique a ainsi souvent été considéré comme une première étape dans les processus de conception *pas-à-pas* (Meynard et al., 2012; Mischler et al., 2009).

Les autres outils que l'on peut repérer visent davantage la conception de systèmes de culture entiers. Une première approche renvoie au développement de la modélisation, approche privilégiée par les agronomes. Des modèles de simulation des performances sont utilisés pour une évaluation *ex-ante* de prototypes de systèmes de culture. Certains modèles, basés sur des connaissances scientifiques mais également expertes, autant pour leur structure que pour leur calibrage, visent à prédire un rendement atteint selon diverses combinaisons de contraintes et de choix techniques (e.g. Dogliotti et al., 2003; Guichard et al., 2013). Leur intérêt est de pouvoir prendre en compte l'effet de l'ensemble des techniques et de leurs interactions. D'autres types de modèles sont basés sur une description explicite du fonctionnement des cultures, et ne prennent en compte que les facteurs abiotiques (ex. climat ; flux et réserves en eau en en minéraux, en général l'azote), et intègrent donc les pratiques qui jouent directement sur ces facteurs (e.g. irrigation, fertilisation). Ces deux types de modèles peuvent être mobilisés dans l'élaboration de prototypes du fait de l'expérimentation virtuelle qu'ils permettent (notamment dans l'exploration d'une grande quantité de combinaisons de techniques, ou l'exploration de situations non disponibles dans les données observées). Ainsi, les modèles peuvent être utilisés dans une optique de tri à partir d'une diversité de systèmes de culture candidats (Le Gal et al., 2011; McCown, 2002; Rossing, 1996). Ces modèles peuvent également être combinés à des indicateurs environnementaux, mesurables de façon dynamique (Dogliotti et al., 2014; Tixier, 2004).

Les modèles évoqués ne sont donc pas équivalents dans la manière de prendre en compte les pratiques de l'agriculteur dans le phénomène simulé, mais gardent un point commun qui est de viser la description des systèmes de culture *entiers*.

Les agronomes ont également formalisé des méthodes de prototypage qui permettent, au cours d'une succession d'étapes, d'établir des combinaisons de pratiques satisfaisantes (Lançon et al., 2008; Vereijken, 1997). Elles permettent également l'intégration des connaissances expertes des différents acteurs participants à la conception, notamment lorsque les modèles sont peu adaptés (ex. dans le cas de cultures mineures). Bien que ces démarches soient une base d'inspiration pour la conception *pas-à-pas* (Mischler et al., 2009), elles proposent majoritairement l'élaboration de prototypes, avec l'idée d'assurer une diffusion efficace des systèmes retenus (par exemple, par

l'implication des agriculteurs dans le processus, par la prise en compte de contraintes apparaissant dans les premières phases de tests).

Ces méthodes de conception de système s'appuient sur des outils d'évaluation. Parmi ces outils, on trouve notamment les indicateurs développés dans le souci d'évaluer et de sélectionner les alternatives les plus prometteuses parmi des propositions de systèmes de culture, ou parmi différentes alternatives déjà mises en application. Cela a mené au développement de nombreux indicateurs de performances (Bockstaller et al., 2008). Pour satisfaire les besoins d'une évaluation multicritères, les agronomes ont travaillé de manière approfondie à la fois la sélection des indicateurs d'évaluation (e.g. Barrios et al., 2006; Marchand et al., 2014), et l'agrégation des indicateurs pour fournir une appréciation globale des systèmes de culture, portant le plus souvent sur leur durabilité (Craheix et al., 2012; Sadok et al., 2009). Outre les indicateurs, l'évaluation de prototypes de systèmes de culture est permise par l'expérimentation système de longue durée, qui permet une évaluation *ex-post* (Debaeke et al., 2008, 2009). Dans ces expérimentations, les traitements sont des combinaisons de pratiques, conçues en fonction d'objectifs ou de contraintes définies (Colnenne-David & Doré, 2014). Bien que, comme le rappellent Fiorelli et al (2014), les productions scientifiques sur les expérimentations système sont essentiellement centrées sur des aspects méthodologiques ou bien sur les résultats d'évaluation des systèmes innovants, ce type de dispositif peut également être vu comme un outil pour la conception *pas-à-pas* (Coquil et al., 2011a, 2014). Ces expérimentations apportent une flexibilité au système testé puisqu'elles reposent en général sur des règles de décision qui comportent i) une fonction qui relie la décision aux objectifs du système, ii) une solution qui correspond aux actions possibles selon le contexte (du type « si...alors..., sinon... »), et iii) des critères d'évaluation de l'atteinte des objectifs. Ces règles pouvant être revues selon les résultats d'une campagne, l'expérimentation système peut devenir une ressource pour une amélioration continue du système de culture correspondant à une re-conception *pas-à-pas*, et permet de faire évoluer les manières de percevoir les évolutions du système (Meynard 2015).

Enfin, les agronomes s'appuient également sur des « bibliothèques de solutions ». Nous pouvons citer par exemple la plateforme web AgroPeps (Guichard et al., 2015), qui combine la description d'un large panel de techniques avec une plateforme d'échanges sous forme de forum. Dans une même approche, des formalismes de combinaisons de connaissances qui peuvent être mobilisées dans la conception ont été proposés : c'est le cas des schémas décisionnels (Petit et al., 2012), ou des cartes fonctionnelles de représentation des solutions techniques (Reau, 2015). Leur objectif est de permettre la transmission d'expériences particulières vers des agriculteurs en train de re-concevoir, en permettant une explication des logiques agronomiques qui les sous-tendent. Des hypothèses peuvent être faites quant aux rôles joués par de tels artefacts : alléger la charge mentale lors de la conception en reportant une partie de la mise en mémoire et de l'assemblage des solutions sur l'artefact, supporter une discussion constructive sur les hypothèses et connaissances qui sous-tendent les choix représentés, permettre de dissocier les fonctions recherchées des solutions techniques employées par un mouvement d'abstraction. Bien que ces bibliothèques de solutions agronomiques soient évoquées comme des ressources pour la conception *pas-à-pas*, les recherches sur leur formalisation et leur mobilisation pour équiper efficacement ces processus sont encore nécessaires.

D'une manière générale, cette revue des productions dédiées à la conception montre que les agronomes ont davantage travaillé sur l'outillage pour l'invention de prototypes de systèmes de culture à atteindre, que pour l'activité de conception par l'agriculteur lui-même, qui est une activité de conception *pas-à-pas*, comme cela est également constaté par Coquil (2014). Il s'agit plutôt d'imaginer de nouveaux systèmes, comme des combinaisons complètes et organisées de techniques, sans que leur mise en pratique ne soit explicitement considérée. A notre connaissance, une seule méthode formalisée, combinant les capacités d'exploration de la conception *de novo* avec la prise en compte des contraintes et des transformations des prototypes liées à la mise en application, a été proposée (Lefèvre et al., 2013). Elle inclut 8 étapes, dont les 5 premières correspondent à la conception *de-novo* de prototypes de systèmes de culture et à leur évaluation *ex-ante*, prototypes qui sont ensuite dans les 3 étapes suivantes, adaptés individuellement par les agriculteurs pour intégrer leurs propres contraintes.

Ainsi, très peu d'outils et méthodes proposées par les agronomes visent directement à permettre et/ou accompagner un processus de re-conception d'un système de culture par un agriculteur dans sa propre situation, qui correspond à une évolution progressive des pratiques mises en œuvre. De même, peu d'approches théoriques de l'action dans ce type de situations permettent d'identifier des pistes pour l'élaboration de nouveaux outils pour la conception. Après avoir précisé ce qu'est l'action de re-conception qui nous intéresse, il me semble donc pertinent de m'intéresser aux connaissances agronomiques sur lesquelles ces ressources reposent. Est-ce que ces connaissances sont adaptées pour permettre l'action de re-conception par l'agriculteur ? Quelles tensions épistémologiques sont à l'œuvre ?

2.2 Sur quelles connaissances ces ressources pour la re-conception de systèmes de culture peuvent-elles s'appuyer ?

Je m'intéresse donc dans cette partie aux connaissances qui ont été et qui sont produites par les agronomes, et qui peuvent être mobilisées dans les ressources produites pour la re-conception. Avoir une compréhension des formes de connaissances produites par les scientifiques qui se sont intéressés à la production agricole me semble nécessaire pour pouvoir aborder ensuite la façon dont les agronomes problématisent aujourd'hui le rôle de la production de connaissances pour l'action. D'ailleurs, les théories de la conception, et notamment la théorie C-K (pour Concept-Knowledge) proposée par Hatchuel et Weil (2003), relie fortement l'exploration des concepts au cours de la conception à celle des connaissances. La conception pose directement des questions de connaissances : celles qui doivent être explorées, celles qui permettent de formaliser de nouveaux concepts, etc.

Ce qui est visé n'est évidemment pas une liste exhaustive ni une typologie stabilisée des connaissances produites. Je cherche ici à éclairer de grandes variations dans les postures épistémologiques que les agronomes ont adoptées, c'est-à-dire, à capter comment les agronomes ont considéré (et considèrent aujourd'hui) que les connaissances produites pouvaient être utiles dans une transformation du réel agricole, et donc comment ils ont intégré (et intègrent aujourd'hui) l'action dans leur activité de production de connaissances. Je précise toutefois que je me concentre

sur les productions de connaissances aux mailles spatiales ne dépassant pas celle de l'exploitation agricole, laissant ainsi de côté toute une branche de l'agronomie (ex. agronomie des territoires, (PAPY, 2001).

Je cherche d'abord à avoir une lecture historique de ces postures (2.2.1), puis à identifier les principales problématiques qui ont émergé en lien avec les mouvements scientifiques de l'agroécologie et de l'intensification écologique (2.2.2 et 2.2.3).

2.2.1 Evolutions des connaissances produites par la discipline agronomique

Pour ce paragraphe, je m'appuie principalement sur les travaux de Berthet (2013) et de Jouve (2007).

2.2.1.1 L'action non dissociée du fait : connaissances issues de la variabilité des observations

Jusqu'au XVIII^e siècle⁹, les connaissances sur le domaine de la production agricole résultent de démarches empiriques, et ne font pas vraiment l'objet d'une capitalisation organisée, ce que Jouve appelle un « *empirisme raisonné* ». L'élaboration théorique reste limitée dans le sens où les règles pour l'action découlent directement de l'observation de faits dans une diversité de situations. Ces faits sont présentés à la fois comme résultats d'une action et reflets de son efficacité. Une collection de faits est ainsi construite par des observations multipliées dans des situations très contrastées.

2.2.1.2 L'action rendue invisible par la loi générale : connaissances fondamentales non liées au fait technique

Du XVIII^e au XX^e siècle, on observe une rationalisation accrue des pratiques agricoles (Berthet, 2013). Ainsi, du simple inventaire « naturaliste » des pratiques, on passe à l'élaboration de théories et de connaissances analytiques sur ces pratiques. Les « *physiciens agriculteurs* » (Berthet 2013) associent alors l'étude des phénomènes naturels à l'étude des pratiques des paysans. D'un modèle de science de terrain, l'étude de la production agricole passe à un modèle de science de laboratoire, ce qui est d'ailleurs permis par les évolutions concomitantes dans les domaines de la chimie et de la biologie. Les travaux menés à l'échelle de la plante fournissent les bases de la compréhension de la photosynthèse, de la nutrition sous forme minérale, de la fixation symbiotique de l'azote des légumineuses¹⁰. Ces approches visent donc à établir des lois et à mettre à jour des mécanismes et causalités, mais dans le même mouvement, rendent invisible le rôle de l'action anthropique. Cette dernière n'est prise en compte que comme l'acte finalement déduit des mécanismes élucidés dans le fonctionnement d'un système, qui en est considéré indépendamment, et qu'on cherche à piloter pour l'orienter vers la production agricole.

Au XX^e siècle, on peut considérer que la segmentation des sciences liées au domaine de l'agriculture (écophysiologie, sciences du sol, etc) se poursuit. Il n'y a pas de « *science de l'agriculture* » et l'étude

⁹ Jouve (2007) mentionne toutefois des formes différentes d'étude du phénomène de la production agricole entre l'Antiquité et cette époque récente, notamment en ce qui concerne les observations et premières expérimentations des savants arabes des XI et XII siècles, mais ces nuances sortent du cadre de notre analyse.

¹⁰ Jouve (2007) développe en particulier l'exemple de Justus Liebig (1803-1872) qui propose la théorie de l'élaboration de la matière organique par la plante, celle-ci n'ayant donc besoin que de la forme minérale, rendant l'apport de fumier non indispensable. Durant cette époque, les sciences des engrais prennent une grande place dans ce qui est revendiqué comme « sciences de l'agriculture ».

des productions végétales ne se reconstitue qu'en rassemblant le puzzle de « fragments de connaissances relatifs aux différents facteurs de la production végétale: le sol, le climat, la plante, les techniques » (Jouve 2007). Une telle production scientifique segmente finalement la manière dont on peut approcher l'action : en effet, elle ne peut fournir des références valables que pour des conditions correspondant à celles utilisées dans l'expérimentation. Cette approche sera favorisée par l'utilisation des méthodes de statistiques inférentielles fisheriennes¹¹ dans les expérimentations en microparcelles. Cette orientation majoritaire des scientifiques qui s'intéressent à des phénomènes liés à la production agricole vers la recherche fondamentale a été suscitée par la recherche d'une reconnaissance au sein des communautés scientifiques (Jas, 2005; Jas & Mayaud, 2001).

Finalement, une grande partie des connaissances produites, et qu'on retrouve encore aujourd'hui dans les modèles de culture et dans les socles théoriques des disciplines fondamentales liées à l'agronomie, l'ont été dans une finalité de compréhension des mécanismes propres aux entités analysables par l'expérimentation en situation contrôlée. Elles visent donc un fonctionnement, mais un fonctionnement particulier dans le sens où c'est celui d'un système abordé d'un point de vue externe, indépendamment de l'action, avec l'idée d'être capable ensuite de décider de l'action appropriée pour sa gestion.

2.2.1.3 L'action via la pratique de l'agriculteur : connaissances reliant le fait technique et le décisionnel, connaissances pour des situations singulières

A partir des années 1970, une approche de l'agronomie davantage liée à l'action va apparaître avec la formulation de concepts qui permettront de relier les faits observés, de s'intéresser aux interrelations entre les composantes qui confèrent aux faits observés leur unité fonctionnelle. Ainsi, Sebillotte (1974) affirme que, grâce aux progrès technologiques, il devient possible d'analyser les mécanismes d'élaboration de la production agricole de façon synthétique en lien avec les suites de techniques appliquées à la parcelle. Ce ne sont plus les mêmes mécanismes qui sont visés par la production de connaissance ici. L'échelle de leur analyse et les types de relations entre objets étudiés sont guidés par un objectif lié à la pratique -même si elle reste implicite - : celui de comprendre « *la façon dont s'élabore le rendement d'une culture* » (Jouve 2007). Les connaissances fonctionnelles concernent alors autant les composantes que leurs interactions. Sebillotte (1974) précise à cette époque qu'on peut distinguer trois niveaux de connaissances : i) celui de l'observation et de la corrélation ; ii) celui de la « loi »; et iii) celui de l'explication¹². L'agronome vise expressément le niveau de l'explication, ce qui ne remet pas en cause la pertinence des autres niveaux, mais bien au contraire, conditionne leur exploration et leur organisation (quelles observations doivent être faites, quelles lois sont pertinentes pour contribuer à expliquer un phénomène de production agricole). La fragmentation, décrite pour l'époque précédente, est remplacée par une construction d'explication systémique des phénomènes observés au sein des parcelles.

Les agronomes vont alors également chercher à mieux rendre compte de la dimension décisionnelle de l'activité agricole pour réintroduire l'agriculteur et son action dans leurs études. Ils vont le faire

¹¹ Notamment avec la publication en 1935 de l'ouvrage *Design of Experiments* de Fisher.

¹² Pour expliquer ce terme, il se réfère à HALBWACHS, « l'histoire de l'explication en physique », in *L'explication dans les sciences*, 1973, p. 74.

selon deux types de développement théorique: d'une part l'étude des pratiques et de l'autre, le développement de méthodes qui visent à rendre l'agriculteur capable d'interpréter sa situation dans son fonctionnement agronomique. Je détaille dans les deux paragraphes suivants chacun de ces développements.

La pratique résulte de la mise en application, dans une situation donnée, de principes techniques, par l'agriculteur. Elle est contrainte par des dimensions matérielles (disponibilité des outils, organisation du travail sur l'exploitation) et immatérielles (objectifs de l'agriculteur, contexte socio-économique de son exploitation, disponibilité des informations sur la situation et sur l'action elle-même)(Deffontaines & Landais, 1988). L'étude des pratiques des agriculteurs vise alors à : comprendre les actions des agriculteurs, comment et pourquoi ils les réalisent, quels sont les résultats. L'objet d'étude devient le «*système climat-sol-plante soumis à l'action de l'homme*» (Dulcire, 1997). Et les agronomes vont chercher à analyser les pratiques pour en déduire les logiques agronomiques de celui qui les pilotent, pour construire les systèmes décisionnels sous-jacents : comment l'agriculteur mobilise-t-il son expérience ? Comment l'a-t-il constituée en savoir professionnel ? comment celui-ci évolue-t-il au gré de ses réussites et de ses échecs ? (ce qui aboutira par exemple au « modèle d'action », déjà évoqué) (Cerf & Sebillotte, 1988; Sebillotte & Soler, 1990). La particularité en agronomie de l'étude des processus de décisions tient au fait qu'elle n'est pas réalisée uniquement par des économistes, mais surtout par des spécialistes des systèmes techniques que sont les systèmes de culture (Papy, 1998).

2.2.1.4 L'action via la pratique de l'agriculteur : connaissances pour des situations singulières

Le deuxième développement résulte du besoin généré, comme l'argumente Dulcire (1997), de ne plus donner simplement des règles d'action génériques aux agriculteurs, mais bien de développer leur aptitude à adapter leur action aux situations qu'ils rencontrent et aux objectifs spécifiques qu'ils se donnent. Selon Dulcire (1997), les connaissances que produisent les agronomes ne doivent plus simplement s'inspirer des problèmes rencontrés dans les pratiques mais doivent permettre aux agriculteurs d'identifier et « poser » les problèmes qu'ils rencontrent. Or la construction du problème s'appuie nécessairement sur des données qui déterminent la situation (des *références*) et la formulation d'hypothèses (des *inférences*)¹³. Les outils et méthodes qui ont été produits par les agronomes pour permettre un diagnostic des situations et déterminer les variables sur lesquelles il sera préférable d'agir pour atteindre les objectifs de l'agriculteur, restent peu nombreux. Dans cet esprit, Sebillotte (1969) propose une méthode d'observation de la situation d'une exploitation agricole qu'il nomme « *tour de plaine* », qui amène à « connaître » l'exploitation et les interactions pratiques-états du milieu d'une façon qui est directement orientée vers l'action¹⁴. Il aborde donc la connaissance que peut avoir l'agriculteur de sa propre parcelle, de la façon dont l'état de la parcelle conditionne la réaction du milieu et de la plante cultivée aux techniques culturales, de l'histoire de ses parcelles, qui lui permettent de porter un jugement immédiat sur une situation culturale (en

¹³ Cette façon de préciser la manière dont une situation est problématisée est très inspirée de l'enquête telle que la définit Dewey (1938).

¹⁴ « *Le tour de plaine est donc un outil dont l'emploi est nécessaire à l'action car c'est le seul qui permette d'appréhender le réel de mon exploitation, d'en estimer les répercussions sur la production et l'organisation du travail, de déterminer les améliorations à entreprendre.* » Sebillotte (1969)

fonction de ses objectifs), dégager la nature des problèmes, et hiérarchiser les problèmes. La méthode propose des cadres pour organiser l'observation, mais elle reste peu précise sur les indicateurs spécifiques à mobiliser.

Le diagnostic agronomique régional (Doré, 2000; Doré et al., 1997), pour hiérarchiser les causes de variation de rendement ou de qualité dans une région, s'inscrit dans la même logique, bien que cette méthode soit sans doute trop lourde à mettre en œuvre pour être considérée sur le même plan qu'un tour de plaine. Cette démarche s'appuie très largement sur des indicateurs qui permettent de renseigner les états du système dans une situation particulière, qui correspondent à la définition très générale de « variable qui donne une information sur d'autres variables, difficiles d'accès » (Gras et al., 1989). Ces indicateurs sont finalement très peu développés par rapport à ceux que Riley (2001) appelle les indicateurs d'impact, définis plus précisément comme « une valeur calculée ou une statistique estimée relative à une référence », définition qui est celle reprise par les travaux d'agronomes sur l'évaluation multicritère (Bockstaller et al., 2008; Girardin et al., 1999). Ce second développement théorique sera d'ailleurs soutenu par l'émergence de nouvelles manières de produire de la connaissance, notamment en lien avec ce que Hatchuel (2000) voit comme le passage en agronomie à la recherche-intervention, après être passé d'un modèle de laboratoire à un modèle de terrain. En effet, les agronomes s'ouvrent aux épistémologies constructivistes en s'engageant dans la co-production de connaissances par des méthodes telles que la modélisation d'accompagnement (Étienne, 2010), les démarches de co-conception (Bos et al., 2009; Cerf et al., 2012; Dogliotti et al., 2014; e.g. Reau, 2015). Les connaissances qui sont construites en adhérence avec la situation (Schwartz, 2009) sont considérées pertinentes dans ces démarches pour guider l'action de celui qui gère l'agroécosystème considéré, en particulier parce qu'elles permettent le mieux de prendre en compte l'ensemble des propriétés de ces systèmes. Cela révèle donc un tout autre positionnement épistémologique que celui qui a précédé les années 1970 en France, et se place par contre dans la continuité de celui qui cherche à intégrer le plus largement possible une prise en compte des situations concrètes de pratique.

Ce parcours historique des connaissances produites dans le champ de l'agronomie m'amène à souligner la tension qui existe entre le souhait, d'une part, de comprendre des fonctionnements dans les mécanismes fins d'un système dont on extrait presque totalement l'action, et d'autre part, de prendre en compte des réalités systémiques et pratiques situées de l'activité agricole. Cette tension s'illustre à travers ce qui est considéré ou pas comme connaissance, à travers l'objectif assigné aux connaissances (comprendre ou agir) et à travers les manières de les valider, les organiser et les formaliser selon leurs origines. Si on remarque un renouveau de la prise en compte de l'action via l'étude des pratiques et l'aide au diagnostic des situations, il semble que peu d'outils aient été développés dans ce sens. Ces constats nous invitent à explorer la manière dont les agronomes, aujourd'hui, intègrent les problématiques agroécologiques dans les postures épistémologiques qu'ils adoptent.

2.2.2 *Elargir les sources de connaissances des agronomes pour le développement d'une agroécologie dans les pratiques?*

Le développement de l'agroécologie dans le champ actuel de la science agronomique remet au premier plan les questionnements autour des connaissances en agronomie et en particulier leurs rapports à l'action. De fait, il souligne la nécessité de prendre en compte les tensions entre la connaissance scientifique générique, l'action spécifique de mise en œuvre de principes agroécologiques (e.g. concernant les incertitudes que l'action implique), et le caractère situé de cette action (situé dans le sens de nécessairement contextualisé). J'analyse ici les différentes manières dont les agronomes proposent de gérer ces tensions par différentes voies de développement des connaissances.

2.2.2.1 Mobiliser les connaissances des sciences du végétal et de l'écologie :

Tout d'abord, de nombreux auteurs affirment qu'il est nécessaire de mieux comprendre une diversité de processus naturels au sein des écosystèmes. Par exemple, Médiène et al. (2011) démontrent l'importance des interactions entre plantes et insectes et des complémentarités entre espèces bénéfiques (ex. ennemis naturels des ravageurs), pour rendre possible la gestion directe ou indirecte de ces processus (e.g. via les génotypes des plantes cultivées). Ces constats ont orienté une partie de la production de connaissances en agronomie vers une plus grande intégration des processus biologiques. Mais au-delà de travaux internes à l'agronomie, les auteurs se référant au cadre de l'intensification écologique suggèrent aussi que les agronomes mobilisent des connaissances issues de disciplines scientifiques plus fondamentales, telles que les sciences du végétal (e.g. écophysiologie, phytopathologie, etc), ou celles issues des différentes branches de l'écologie. En effet, étant classiquement définie comme « *l'intensification dans l'utilisation des fonctions naturelles que l'écosystème offre* » (Chevassus-au-Louis & Griffon, 2008; Griffon, 2013), l'intensification écologique implique notamment de savoir repérer et mobiliser ces fonctions, et comment elles vont impacter le système soumis à l'action de l'homme. Cassman (1999, cité par Doré et al., 2011) insistait déjà sur le besoin de progresser dans les sciences des plantes et du sol pour accroître la production sans impacter l'environnement. Doré et al. (2011) confirment cette idée en mentionnant les avancées faites par les sciences du végétal (e.g. architecture de la plante, morphogénèse des feuilles et racines, biologie florale, signaux à longue distance au sein de la plante) comme l'une des sources de connaissances utiles pour atteindre les objectifs de production, de qualité, et de préservation des ressources naturelles. Ces auteurs identifient par exemple que les travaux de Monteith, sur la relation entre l'interception du rayonnement solaire et la production de biomasse, sont encore largement utilisés comme une représentation simplifiée mais efficace pour la conception de systèmes de culture, alors que les progrès réalisés dans la compréhension des mécanismes de la photosynthèse et l'amélioration de son efficacité pourraient renouveler ce paradigme. L'appel aux connaissances issues de l'écophysiologie, de l'écologie, de la botanique, de la biogéochimie, etc, (voir aussi Caron et al., 2014; ou Rey et al., 2015) correspond donc à la volonté de mieux éclairer les mécanismes pour comprendre le fonctionnement des interactions systémiques au sein des systèmes agroécologiques, pour ensuite pouvoir guider les pratiques de gestion de ces écosystèmes.

Une autre stratégie proposée, qui ne fait pas appel aux mêmes connaissances, est celle du mimétisme des écosystèmes naturels (au sens de peu ou pas impactés par l'action humaine). L'idée est déjà évoquée par Gliessman (1998, cité par Bonaudo et al., 2014). Elle est plus amplement développée par Malézieux (2012), qui propose de développer de "*nouvelles stratégies en incorporant des connaissances écologiques construites par l'observation d'écosystèmes naturels*". L'objectif est de mimer la structure et/ou le fonctionnement de ces écosystèmes pour concevoir des agroécosystèmes fournissant une multiplicité de services. Les connaissances à mobiliser viennent également des disciplines de l'écophysiologie, de la protection des plantes, de la botanique et de l'écologie. Mais la même question du choix des connaissances à explorer se pose. Quelles sont les structures à mimer ? Quel niveau de connaissance des processus est-il nécessaire pour mimer, c'est-à-dire engager des actes techniques pour gérer un agroécosystème de façon à lui faire adopter les structures et fonctionnalités visées ? Ces auteurs n'apportent pas de détails sur la manière dont les processus liés aux espèces ou à leurs relations doivent être étudiés. Doré et al. (2011) mentionnent toutefois les difficultés d'une telle approche : par exemple, reproduire la diversité spécifique n'assure pas d'obtenir la diversité fonctionnelle; d'autre part l'identification des structures et fonctions d'un système naturel est difficilement exhaustive.

Enfin, dans ces deux premières stratégies, l'agronome repère des processus qu'il estime intéressant de mobiliser dans les agroécosystèmes, puis il vise leur compréhension fonctionnelle dans l'objectif d'être capable de piloter ce processus. Mais ce type d'exploration risque de faire apparaître des phénomènes toujours plus complexes : ignorance et incomplétude des connaissances croissent en même temps que la compréhension des phénomènes. De plus quelles connaissances sélectionner parmi la grande diversité des façons dont les sciences fondamentales ont exploré les processus naturels visés ? Loin de mettre en doute la nécessité d'une compréhension des processus naturels qui peuvent sous-tendre des systèmes agricoles adaptés aux enjeux actuels, on peut donc repérer qu'elle n'est pour l'instant que peu guidée par une ontologie de l'action, notamment celle de l'agriculteur.

2.2.2.2 Mobiliser des connaissances non scientifiques : liées aux situations, liées à l'action

Dans les stratégies de mimétisme des agroécosystèmes naturels, une autre source de connaissance mentionnée est celle de l'ethnobotanique (Altieri, 2002b; Malézieux, 2012). Dans ces approches, on considère que les connaissances locales des agriculteurs découlent de leur observation de la nature. On considère qu'il faut soit les « *transformer en connaissances scientifiques* » (Malézieux 2012), soit les intégrer directement dans la conception de nouveaux agroécosystèmes. Altieri (2002) mentionne plus précisément les taxonomies locales, les pratiques traditionnelles, la connaissance des cycles naturels et climatiques, les connaissances sur l'adaptation des espèces, sur les usages potentiels des plantes, sols et environnements. D'autres auteurs mettent en rapport la diversité des connaissances que se construisent les agriculteurs avec des formes d'acquisition de ces connaissances. Tout d'abord, la dénomination de Local Ecological Knowledge (LEK), correspondant à ce que Doré et al (2011) appellent *lay expertise*, provient de l'expérience qu'ont les agriculteurs de leur propre agroécosystème et de sa gestion, ou de l'observation de la façon dont d'autres agriculteurs gèrent

leurs systèmes d'exploitation. Cette définition peut être rapprochée de ce que certains auteurs appellent « *experiential knowledge* » (Baars, 2011; Fazey et al., 2006). Baars (2011) propose une méthode pour intégrer ces connaissances aux connaissances scientifiques, « *experiential science* », basée sur une réflexion sur l'action, sur l'analyse des pratiques par une approche participative qui permet d'explicitier les connaissances implicites et tacites des agriculteurs. Derrière cette volonté d'explicitation des connaissances locales, il n'y a pas seulement la volonté de favoriser l'assimilation de connaissances scientifiques dans les contextes particuliers par une traduction dans des formes d'explicitation concordantes¹⁵, mais aussi celle de combler des « *knowledge gaps* » au sein des connaissances scientifiques pour ainsi les enrichir, car elles sont parfois insuffisantes pour répondre aux problématiques très locales (Caron et al. 2014, Doré et al. 2011). Cette démarche confronte alors le caractère contextualisé des LEK à une connaissance scientifique visant une plus grande généralité. Une autre forme de connaissances, appelées Traditional Ecological Knowledge (TEK) est davantage mise en lien avec le fait que les agriculteurs peuvent hériter de l'expérience accumulée par plusieurs générations ayant travaillé dans les mêmes contextes (Huntington, 2000). Cette reconnaissance est basée sur l'hypothèse que les systèmes de production que les agriculteurs traditionnels ont développés ou dont ils ont hérités à travers les générations dans un contexte précis sont adaptés aux conditions de culture locales, et ont permis un développement indépendamment des apports technologiques exogènes (Altieri & Toledo, 2005). Mais s'intéresser à ces connaissances amène souvent au constat d'une complexité triple : complexité de leur fondement socio-culturel (les particularités socio-historiques d'une situation et les ensembles de valeurs et de croyances qui les sous-tendent), complexité liée à leur hétérogénéité et aux contradictions qui peuvent apparaître au sein de connaissances d'un acteur ou entre celles d'acteurs locaux (voir par exemple (Girard & Navarrete, 2005) pour les cas du safran et de la truffe), et complexité liée à leur dominante qualitative, par opposition aux connaissances scientifiques majoritairement quantitatives (voir par exemple Berkes et al., 2000; Delbos, 1983). A propos de cette triple complexité, Berkes et al. (2000) affirment que les connaissances traditionnelles mixent « *une composante de connaissances locales d'observation des espèces et d'autres phénomènes, une composante de pratique dans la manière dont les gens mènent leur activité d'utilisation des ressources, et une composante de croyances à propos de la place et des relations qu'entretiennent les gens avec l'écosystème* ». Ils parlent donc d'un complexe de connaissances-pratiques-croyances. Ils insistent également sur la particularité de ces connaissances dans leur fonction d'identification et de réaction aux « *feedbacks* », aux changements des états de l'écosystème, de manière à choisir une direction d'évolution dans les actions de gestion : « *Traditional Ecological Knowledge can be viewed as a "library of information" on how to cope with dynamic change in complex systems* » (Berkes et al. 2000).

Les scientifiques reconnaissent donc la valeur des connaissances locales et expertes, à la fois pour sélectionner parmi une diversité d'actions possibles dans des situations où il serait difficile de le faire via les connaissances scientifiques disponibles, pour anticiper et reconnaître les évolutions des

¹⁵ Ce que Blaikie et al. (1997) appellent « *ventriloquised knowledge* » dans un paradigme de transfert de technologies : « *Development practitioners do not regard LK as having any practical value per se but may accord it a functional value in assisting external agencies to introduce modern technologies and management through the use of local idioms and classifications to generate culturally acceptable messages* ».

agroécosystèmes et en identifier les moteurs, pour monitorer les effets de pratiques et décider des moments propices pour agir. Ainsi, des modes de combinaison des connaissances non-scientifiques aux connaissances scientifiques ont été proposés. Girard et Navarrete (2005) identifient quatre modes de synergie possibles, qui visent soit à vérifier les fondements scientifiques des connaissances identifiées, soit à identifier des questions scientifiques pertinentes, soit à les relier à des paramètres reproductibles pour les rendre génériques, soit à construire des analogies (e.g. entre cultures) sur la base d'arguments scientifiques. Dans une revue plus récente des travaux d'agronomes qui abordent l'usage des connaissances des agriculteurs, Girard (2015) identifie quatre positionnements adoptés pour justifier l'étude de ces connaissances : i) leur évaluation en vue de leur amélioration sur la base de connaissances scientifiques, ii) leur documentation pour une capitalisation et la légitimation de leur mobilisation dans les démarches de développement, iii) leur usage en tant que ressources pour l'innovation, et iv) la facilitation des échanges entre sources de connaissances. Ces positionnements font écho aux modes de synergie proposés précédemment, et questionnent la catégorie de « connaissance des praticiens », en soulignant l'intérêt de dépasser une dichotomie classique entre connaissances scientifiques et empiriques pour avoir une approche davantage orientée vers les processus par lesquels ces connaissances se construisent. Les démarches participatives ne visent pas forcément à expliciter les connaissances locales ou expertes, indépendamment des connaissances scientifiques, mais s'attachent souvent à les prendre en compte en mettant en dialogue les représentations et connaissances des scientifiques et des non-scientifiques. C'est par exemple le cas de la méthode proposée par Cerf et al. (2012) pour la conception d'outils d'aide à la décision, des démarches de modélisation d'accompagnement (Étienne, 2010; Souchère et al., 2010), de l'utilisation des modèles de simulation pour l'apprentissage collectif (e.g. Hagmann & Chuma, 2002; Hochman et al., 2000; McCown, 2001). Enfin, des travaux issus de l'anthropologie des connaissances dans le domaine de l'agronomie proposent des méthodes de mise en évidence des représentations qu'ont les agriculteurs de leur propre agroécosystème local, et des modes de gestion qu'ils emploient (c'est-à-dire les entités dans l'espace et le temps qu'ils manipulent) (Darré, 1999, 2004; Mathieu, 2004). Ces travaux font le constat des différences qui marquent les connaissances des agriculteurs et celles des scientifiques, et tentent d'analyser les formes d'interactions entre connaissances, points-de-vue et représentations (Ingram et al., 2010).

Finalement, ces stratégies de mobilisation des connaissances locales identifient les différences entre des formes de connaissances, étudient les possibilités de mobiliser les connaissances locales comme sources pour l'élaboration de connaissances scientifiques, et tentent d'analyser les formes de complémentarités et d'interactions entre connaissances, points de vue et les représentations qui les accompagnent. En revanche, les connaissances expertes sont majoritairement analysées dans leurs formes et spécificités par rapport aux connaissances scientifiques, mais moins souvent comme des ressources situées qui révèlent une approche spécifique des situations pour agir (comme le souligne Girard, 2015). Les connaissances des agriculteurs sont bien considérées spécifiques dans le sens où elles répondent à une nécessité d'agir, quelle que soit la disponibilité de connaissances scientifiques sur les situations qu'ils rencontrent. Delbos et Jorion (1984) parlent ainsi d'un savoir paysan fait « *de principes d'action : éléments moteurs et résultants du savoir, mis en œuvre pour répondre à l'urgence de la situation* ». Une analyse des connaissances visant à comprendre la manière dont elles équipent

les agriculteurs dans leurs situations d'action serait alors susceptible de questionner les connaissances scientifiques qu'il serait intéressant de produire pour accompagner les processus d'action, nécessairement situés. Le questionnement épistémique que l'analyse des connaissances expertes apporte (Mathieu 2004) n'est finalement que très peu considéré par les agronomes.

2.2.2.3 Produire des connaissances en partant d'une analyse de l'action

Dans d'autres stratégies de production de connaissances, le lien à l'action n'est pas considéré comme une particularité des connaissances des agriculteurs, mais comme un lien constitutif : les connaissances sont indissociables de l'action située. Les agronomes ne cherchent alors pas à identifier (via la formalisation et l'explicitation) et mobiliser des connaissances expertes, éventuellement dans d'autres situations que celles où elles ont été produites, mais essaient davantage d'interpréter des expériences situées pour reconstruire les logiques agronomiques qu'elles révèlent. Cela correspond, pour certains, à reconnaître une capacité d'innovation des agriculteurs (les auteurs reconnaissent que l'agriculteur combine différentes connaissances issues de son expérience mais aussi de la recherche, et ce qui les intéresse est l'action que cela permet) qui imaginent des systèmes de production avant que la recherche ne les ait formalisés. Pour d'autres, cela renvoie au postulat de la cognition située qui implique de ne pas séparer l'explicitation d'une connaissance des situations d'action.

Pour les premiers, il s'agit donc de repérer dans la diversité des pratiques des agriculteurs, et notamment les applications de systèmes de culture, celles qui ont un caractère innovant, « *hors norme* » (Salembier & Meynard, 2013). Les cas identifiés sont analysés via les variables agronomiques qui rendent compte de ce qui les distingue, et des logiques agronomiques qui les sous-tendent. Ensuite, les performances des systèmes identifiés sont évaluées (avec une batterie d'indicateurs qui peut être spécifique des cas identifiés). L'ensemble de la démarche est appelée « *traque* », et il est intéressant de repérer qu'elle ne vise pas directement à expliciter des logiques agronomiques des agriculteurs, mais à déduire ces logiques d'une analyse de leur action dans leur situation.

Pour les seconds, le postulat est qu'il est de toute façon nécessaire de se placer dans l'action pour produire des connaissances, parce qu'ils considèrent qu'une partie au moins de ces connaissances a une forte composante tacite, et se construit par l'action située (Girard, 2014). Cette posture vise à prendre en compte l'aspect dynamique et situé de l'action et de ses implications pour la cognition située, au sens décrit par Suchman (1987), et admet que « *all knowing is in the action* » (Maturana & Varela, 1987). Duru (2013) propose ainsi une démarche qui, bien que sans se référer au cadre de la cognition située, combine un modèle de laboratoire, qui produit des connaissances sur l'effet des pratiques de gestion sur les systèmes agroécologiques, avec un modèle de recherche-action qui produit des connaissances contextualisées sur la mise en œuvre de ces pratiques. Son objectif épistémique est alors de faire avancer de pair la « *formalisation* » et la « *contextualisation* » des connaissances.

McCown fait une proposition originale, celle de distinguer deux « mondes 2 », que sont celui des agriculteurs et celui des scientifiques. Ceci permet de structurer les différences i) entre penser la pratique dans la situation d'action (pour les agriculteurs) ou penser ce que pourrait être la pratique possible selon les principes déterminants concernant la nature du monde 1 (pour les scientifiques),

et ii) entre différentes approches de l'intervention dans la pratique des agriculteurs. Il cherche ainsi à rendre compte du fait que les « *agents [are] situated in communities of social practice, both in farming and in research* » : les scientifiques autant que les agriculteurs font l'expérience du monde 1, mais les ontologies et les « *situational logics* » (interactions entre les mondes 1 et 2) diffèrent. Il précise, à l'aide de cette distinction entre les mondes 2, que la recherche-action vise avant tout à aider un apprentissage dans le monde 2 des agriculteurs, plutôt que d'élaborer une théorie du monde 3 : « *This is research 'to guide practice' that relies on experience in the action rather than on theory about the practice situation* » (McCown 2001).

Du point de vue d'une réflexion sur le rôle que peuvent jouer des productions de scientifiques pour accompagner les pratiques et leurs transformations, nécessairement situées dans le cadre de l'agroécologie, nous retenons donc que les agronomes cherchent à prendre en compte le fait qu'une part des connaissances qui permettent d'agir naît de l'action en situation.

2.2.3 Peu de travaux réflexifs en agronomie sur le contenu des connaissances adaptées à l'action en situation

D'une manière générale, les travaux qui adressent explicitement les questions de connaissances dans le domaine agricole abordent davantage les manières dont elles sont produites, ou les organisations d'acteurs entre lesquelles elles circulent que la question du contenu de ces connaissances. Ainsi Röling et Engel (1991) ont proposé le concept d'*Agricultural Knowledge and Information System* (AKIS) pour désigner « *un ensemble d'organisations agricoles et de personnes, et les liens et interactions entre eux, engagés dans la production, la transformation, le transport, le stockage, la récupération, l'intégration, la diffusion et l'utilisation des connaissances et de l'information, dans le but de travailler en synergie pour soutenir la prise de décision, la résolution de problèmes et l'innovation dans l'agriculture* ». Ce concept synthétique met la focale sur la manière dont les différents acteurs et institutions interagissent et produisent ou échangent des connaissances pour favoriser l'innovation et sur les rôles des acteurs dans la circulation des connaissances. Les nombreuses interfaces entre acteurs au sein des AKIS sont parfois conceptualisées comme des frontières (« *boundaries* »), que les institutions ou les acteurs vont traverser pour permettre l'innovation, l'échange de connaissances. Sur le plan des connaissances, ce sont donc les modalités des échanges, leurs dynamiques et leur efficacité pour contribuer à l'innovation qui sont au centre des questionnements. Dans une même optique de regarder les formes d'échanges de connaissances entre agriculteurs et conseillers ou autres acteurs intermédiaires, qui apparaissent fructueuses pour le changement de pratiques, Ingram (2008a) étudie les *Knowledge Exchange Encounters* (KEE), les situations d'interface et donc d'échange de connaissances entre agronomes du développement et agriculteurs, dans le cas des pratiques agricoles durables (« *sustainable practices* ») en Angleterre. Elle montre que se jouent à la fois des interactions de pouvoir¹⁶ et de connaissances, et conclut que les KEE les plus propices à un accompagnement du changement sont ceux où l'agronome joue un rôle de facilitateur, c'est-à-dire qu'il est bien moins porteur de connaissances que catalyseur de

¹⁶ L'agronome ne se présentant pas simplement comme porteur de plus ou moins de connaissances, mais aussi comme un acteur plus ou moins légitime pour émettre un jugement sur la pratique de l'agriculteur, sur la connaissance valable.

l'échange et de la construction de nouvelles connaissances. Cependant, elle caractérise ces KEE en mettant en avant la posture de pouvoir adoptée par l'agronome, davantage que le contenu des échanges ou leur sens vis-à-vis de la description, de la construction, et de la mise en application des pratiques. Dans une approche similaire, les travaux visant à déterminer ce que peuvent être des « *systèmes de connaissances pour le développement durable* » (Cash et al., 2003; Kristjanson et al., 2009) font apparaître la même carence sur le traitement des « contenus » des échanges de connaissances. Bien que l'objectif soit d'« *améliorer l'efficacité du lien entre connaissances et action* », leurs conclusions portent sur trois caractéristiques principales que doivent avoir les connaissances : i) leur crédibilité (pertinence scientifique des preuves techniques et des arguments) ; ii) leur pertinence (l'adéquation des propositions avec les besoins du décideur), et iii) leur légitimité (la production de l'information et de la technologie est respectueuse des valeurs et des croyances divergentes des parties prenantes, impartiale et équitable dans son traitement des points de vue et des intérêts opposés). Ces trois caractéristiques sont trop générales pour être directement interprétées en termes de contenus nécessaires des connaissances agronomiques pour le développement durable. Leur valeur réside donc dans la manière dont elles guident l'organisation des acteurs dans les productions et échanges de connaissances. Pourtant, le développement de l'agriculture vers l'agroécologie pose bien des questions de connaissances dans leur contenu, dans leur rôle possible dans la reconstruction de logiques agronomiques.

De fait, le rôle que peuvent avoir des connaissances scientifiques qui seraient directement mobilisées dans l'action des agriculteurs, de même que la manière dont elles se combinent aux connaissances dont ils sont porteurs dans leur activité, ont été bien moins explorés. Girard et Navarrete (2005) proposent l'identification de questions scientifiques pertinentes pour équiper l'action comme un mode de synergie entre connaissances empiriques et connaissances scientifiques. Cependant, elles ne proposent pas de pistes pour les évolutions possibles dans les connaissances scientifiques produites elles-mêmes. Plus que l'origine des connaissances, c'est la manière d'organiser toute une diversité d'éléments de connaissances et de les rappeler dans l'action en situation qui me semble être identifiée comme différente entre les activités des scientifiques et des agriculteurs. Les études qui ont visé à comprendre comment une connaissance scientifique peut apporter aux agriculteurs des possibilités nouvelles pour la maîtrise de leur propre activité traitent davantage des positions de pouvoir au sein de groupes sociaux, de constructions de normes pour l'action au sein de ces groupes (e.g. Darré, 1999; Mathieu et al., 2004). Mais ces approches ne proposent pas encore un retour sur les connaissances scientifiques à produire pour l'action des agriculteurs en situation de changement technique pour une intensification écologique. Sur un plan théorique, McCown (2001) identifie clairement les difficultés d'une telle réflexion sur les connaissances scientifiques à produire. En soulignant (à l'aide d'une distinction entre les 3 mondes proposés par Popper¹⁷) que les scientifiques autant que les agriculteurs font l'expérience d'un monde bio-physique et social objectif, mais que les ontologies et les « *situational logics* » (modes d'interaction entre les états mentaux et le monde

¹⁷ Popper (1972) distingue : i) un monde 1, correspondant à la réalité objective biophysique et sociale ; ii) un monde 2, qui correspond au monde subjectif de la conscience humaine, et iii) un monde 3, qui correspond aux produits de la réflexion humaine (données, informations, connaissance objective, modèles des processus de production, techniques théoriques, heuristiques, etc).

objectif) différent. Ainsi, il souligne la distinction nécessaire entre penser la pratique dans la situation d'action (pour les agriculteurs) et penser ce que pourrait être la pratique possible selon les principes déterminants concernant la nature du monde objectif (pour les scientifiques).

Conclusion 2:

J'ai montré dans cette partie que s'intéresser aux ressources pour la re-conception de systèmes de culture agroécologiques amène à se poser des questions sur les connaissances sur lesquelles elles sont construites. Ainsi, les principales tensions épistémologiques repérées dans les productions de connaissances par les agronomes, entre souhait de généralité (e.g. dans l'exploration de fonctionnements détachés de l'action) et prise en compte des particularités intrinsèques aux contextes d'action, ou entre volonté de mesurer et réduire des risques et gestion de l'action dans l'incertitude, sont renforcées par le développement des thématiques de l'agroécologie.

Dans ce contexte, j'ai montré que la distinction entre connaissances scientifiques et connaissances locales ou expertes subsiste très largement. Les travaux qui s'y rattachent abordent les modes d'échanges et de synergie entre elles. Ils portent principalement sur la façon d'organiser l'activité de recherche et les interactions avec les différents acteurs, et beaucoup moins sur le contenu des connaissances agronomiques, notamment leur pertinence pour accompagner l'action. La connaissance experte est souvent localisée (issue de l'expérience d'un ensemble restreint de situations), ce qui est à la fois un atout pour guider une action efficace dans la situation visée, mais pose des questions quant à son extrapolation, sa généralisation. Mais ce sont davantage son sens agronomique et son insertion dans un ensemble de connaissances que son origine qui sont en jeu dans ces questions. Il me semble donc intéressant d'approfondir la double question : « quelles *connaissances* équipent et se construisent dans l'activité de re-conception ». La distinction entre connaissances scientifiques et expertes ne me semble pas suffisante pour comprendre leur mobilisation dans l'action. Peu de travaux ont regardé comment les connaissances scientifiques peuvent être directement utiles à l'action. Pour explorer cela, je suis amené dans la partie qui suit à explorer les théorisations du lien entre connaissances et action.

3 LES APPROCHES THEORIQUES DE LA CONNAISSANCE ET DES LIENS ENTRE CONNAISSANCES ET ACTION

Le terme de *connaissance* recouvre, dans la littérature, une large diversité d'entités ou d'états mentaux d'un individu par rapport à des faits, des choses, des actions. Je propose dans cette partie d'en donner un aperçu « partiel » et « partial ». Partiel au sens où je ne prétends pas couvrir l'ensemble des théories et débats scientifiques en cours sur les façons de définir la connaissance. Partial car j'essaie surtout de structurer dans ce paysage les lignes d'accord ou d'opposition par rapport auxquelles me situer.

Dans un premier temps, je ferai apparaître que les distinctions que l'on trouve entre connaissances, savoirs et informations passent essentiellement par une diversité de liens à l'individu (3.1). J'insisterai ensuite (3.2) sur la diversité des façons par lesquelles les auteurs ont pensé le lien entre connaissance et action. Pour capter cela, je regarderai plus particulièrement les catégorisations de connaissances proposées, comment elles rendent compte de liens à l'action et si elles précisent ou non des « contenus » de connaissance. Enfin, puisque je vise à comprendre comment la connaissance soutient une capacité d'action dans les situations de changement, je mobiliserai les outils théoriques fournis par la didactique professionnelle (discipline qui utilise l'analyse du travail en vue de déterminer ce que peuvent être des situations de formation des compétences professionnelles) pour répondre à cette question (3.3).

3.1 La notion de « connaissance » dans la littérature : distinctions avec savoir et information, liens à l'individu.

Les termes de « connaissance », « savoir », « information » sont utilisés de manière très hétérogène dans la littérature, d'une part quant au sens et à la réalité matérielle ou immatérielle donnés à chacun des termes, et, d'autre part quant à la fonction qui leur est attribuée. Mais on peut observer que la distinction entre ces notions s'articule beaucoup autour du lien à l'individu. Les différentes disciplines cherchent à définir ce qui est interne à l'individu, ce qui lui est externe, ce qui se construit ou ce qui est donné. Et il est intéressant de souligner qu'elles donnent des points de vue complémentaires, qui attribuent des sens parfois distincts aux termes employés.

En philosophie de la connaissance, la connaissance a longtemps été définie comme une croyance vraie et justifiée. La connaissance des faits vérifiés est distinguée de la connaissance des choses et des savoirs faire. Les travaux qui cherchent à donner une définition de la connaissance se concentrent principalement sur les connaissances des faits, des vérités. La connaissance se réfère à une proposition (dans la formule « si un sujet S sait que p », p est la proposition), mais il faut bien voir qu'elle n'est pas la proposition elle-même, mais bien la relation cognitive, l'état mental, d'un sujet par rapport à cette proposition. La « connaissance », le phénomène étudié en philosophie, n'est donc pas l'information contenue dans la proposition, mais le processus d'appropriation par un individu.

Dans les épistémologies constructivistes (Le Moigne, 2002), la connaissance est décrite comme incorporée à celui qui connaît. C'est une construction de sens interne à l'individu, un processus qui se

développe dans et par l'expérience. La connaissance est donc ineffable, et le savoir en est une traduction, une forme représentée et transmissible, pour une communication entre individus porteurs de connaissances. De même, la connaissance se distingue, pour les constructivistes, de l'information qui, même si les définitions sont variées en fonction des disciplines (Magne, 2007, p43), renvoie généralement à une combinaison de données organisées. Le savoir serait alors l'intermédiaire entre l'information, et la construction de connaissances par l'acteur. Cette définition insiste sur l'individu en tant que porteur de connaissance. C'est, par exemple, la manière dont Avenier (2009a) mobilise les termes de connaissance et savoir, en appelant « *savoirs génériques* » des propositions théoriques communiquées à des managers.

Dans le champ de l'ergonomie, l'utilisation des termes connaissance et savoir est également en lien avec l'individualité. La connaissance est ce qui, à l'échelle individuelle, est tenu pour vrai ou bien permet d'agir. La notion de connaissance *opérative*, par exemple, est très mobilisée pour identifier ce qui permet d'agir, et peut être décrite, explicitée. C'est le cas par exemple des « *images opératives* » qu'analyse Ochanine (1978), images qu'il fait représenter à des praticiens pour identifier qu'elles déforment la réalité pour en faire ressortir les dimensions clés pour leur activité. Toujours en ergonomie, le savoir désigne davantage un ensemble de connaissances partagées par une communauté sociale ou épistémique (savoirs académiques, savoirs de métier). Rogalski et Veillard (2002), par exemple, soulignent qu'il y a « *une différence à faire entre, d'une part, les connaissances mobilisées dans l'activité (du chercheur, de l'ingénieur, de l'apprenant) et, d'autre part, le savoir savant tel qu'il apparaît dans les textes de référence et tel qu'il fonctionne dans des modèles scientifiques* ».

Darré (2004), qui s'inscrit plutôt dans une anthropologie des connaissances, parle de « *formes de connaissances* », qu'il décrit comme étant :

« *–les façons de concevoir les choses qui commandent et justifient, à leurs propres yeux, les actes d'un individu ou d'un ensemble d'individus ;*

–la façon dont un groupe social ou, à un autre niveau, une société, construit, en pensée, les choses de son environnement, et la place des actes et des comportements dans cet environnement ;

–le sens qu'un ou plusieurs individus donnent aux mots, quand ils décrivent les choses et leurs propres actes, quand ils les évaluent, les comparent, les opposent. »

La connaissance, via ces *formes*, renvoie donc à la fois à une manière de concevoir le réel, un construit social qui détermine les comportements, des significations de propositions logiques.

Ce n'est bien sûr pas un tour d'horizon exhaustif des définitions de ce qu'est une connaissance pour les différentes disciplines qui manipulent ce concept, mais il nous permet néanmoins de repérer, d'une part, une grande polysémie du terme qui implique un positionnement explicite sur l'acception que l'on en a pour le manipuler de manière compréhensible, et d'autre part, les dimensions sur lesquelles se distinguent les principales acceptions et sur lesquelles doivent porter ce positionnement. J'ai montré en effet que les définitions mettent en jeu, de façons variées, des liens à l'individualité et des liens à l'échange ou à l'institutionnalisation. Je m'attarde plus longuement dans le paragraphe suivant sur la diversité des façons dont sont pensés les liens entre connaissance et action que je propose de capter à travers la diversité des catégories de connaissances proposées dans la littérature.

3.2 Catégoriser ou caractériser les connaissances pour penser leur lien à l'action ?

Une ligne de force dans les travaux sur les connaissances, qui transparaît dans les débats évoqués ci-dessus, concerne la façon dont sont conceptualisés les liens entre connaissance et action. Ma proposition dans ce paragraphe est de les donner à voir à travers les catégorisations de connaissances proposées par les auteurs qui s'intéressent à l'implication des connaissances dans l'action. Raymond et al., (2010) affirment que : « *catégoriser les connaissances comme 'locales', 'scientifiques' ou 'hybrides' est [...] trop simpliste et ne prend pas suffisamment en compte la façon dont les individus apprennent, donnent un sens à de nouvelles informations, ou les contextes sociaux qui influent sur la façon dont les gens comprennent quelque chose* ». Ce que je cherche à faire apparaître ici, ce sont les catégorisations qui répondent à cette critique. J'essaie également d'identifier à chaque fois si les auteurs attachent aux différentes catégories de connaissances des contenus différents.

3.2.1 Des catégorisations fonctions de l'objectif épistémique

En psychologie cognitive, la distinction est très souvent faite entre des connaissances générales et des connaissances plus spécifiques à l'action. En particulier, j'attire l'attention ici sur le fait que des catégorisations de connaissances sont construites pour rendre compte de l'organisation des connaissances en réseaux sémantiques ou en schémas (Cerf, 1994), et de l'existence d'une continuité entre les niveaux de contrôle de l'activité que propose Rasmussen (1986)¹⁸. Ainsi, par exemple, Richard (1990) distingue i) des connaissances générales (relationnelles et procédurales) pour lesquelles des liens sémantiques sont construits pour constituer des classes, ii) et des connaissances spécifiques (événements, situations, suites d'action). Anderson (1982) distingue plutôt les connaissances déclaratives, qui concernent des « faits bruts » sur un domaine particulier, des connaissances procédurales. En intelligence artificielle, dans une option procéduraliste, toutes les connaissances sont insérées dans les opérations qui les utilisent, et une même connaissance qui intervient dans plusieurs opérations est inscrite plusieurs fois dans le programme. A l'inverse, dans

¹⁸ Rasmussen propose de distinguer le niveau de la compétence, celui de la règle, et celui de la connaissance. En suivant un principe d'économie des ressources cognitives, il est considéré que l'acteur agit en ne mobilisant le niveau de la connaissance (mobiliser les connaissances afin de traiter les situations) que lorsque les deux précédents n'ont pas été efficaces.

une option déclarativiste, les connaissances ont une existence autonome par rapport à leur utilisation éventuelle (et ne sont inscrites une seule fois dans la base de connaissances)(George, 1988). Il y a donc une distinction entre contenu et manifestation (i.e. une ou plusieurs manifestations possibles de la même connaissance). Cette catégorisation (déclaratif-procédural) met également en jeu la relation entre des connaissances générales ou déclaratives, qui concernent un *fonctionnement*, et les connaissances opératives (Falzon, 1989) ou procédurales, qui vont guider une *utilisation* d'un dispositif. On retrouve la même dichotomie chez différents auteurs qui ont séparé représentation et traitement (Hoc, 1987), ou structures et procédures (Inhelder et al., 1976), ou encore image cognitive et image opérative (Ochanine, 1978). Cependant, d'une part, ces catégorisations ont été construites principalement pour analyser des activités de résolution de problème, dans des situations « courantes ». D'autre part, elles visent à comprendre des organisations de représentations de connaissances, et leur remobilisation au cours de l'action. Leur valeur pour s'intéresser aux connaissances impliquées dans une activité qui place l'acteur dans des situations nouvelles et changeantes, et pour comprendre comment se construisent de nouvelles articulations de ces connaissances, est donc discutable. Cerf (1996) propose une distinction entre « *connaissances techniques* » (concerne les états du sol et leur évolutions sous l'effet du climat ou de l'action de l'homme dans une parcelle donnée) et « *connaissances pratiques* » (qui permettent de resituer chaque parcelle dans un ensemble, préciser les modalités d'action sur elle en fonction des contraintes liées à la sole et à l'organisation du travail). Cette distinction, selon cette auteure, ne recouvre pas celle opérée entre connaissances sur le fonctionnement et connaissances sur l'utilisation d'un dispositif : « *Qu'elles soient techniques ou pratiques, les connaissances portent à la fois sur le fonctionnement du champ cultivé et sur la façon de contrôler ce fonctionnement* ».

Ainsi, dans l'ensemble, ces catégorisations me permettent d'identifier qu'il peut être intéressant d'analyser la manière dont les contenus de connaissances permettent d'aborder:

- Les composantes d'un objet et les processus qui les font évoluer (humains et non humains), et leurs traductions dans des procédures de recueil d'information et d'action dans des situations particulières ;
- Les distinctions entre connaissances générales sur des faits, et connaissances davantage orientées sur les actions et les objectifs qui leurs sont assignés.

3.2.2 Des catégorisations fonctions de contenus ou objets de connaissances, peu spécifiques au domaine agronomique

3.2.2.1 Catégorisation liée aux processus ingénieriques : exemple dans l'aviation civile

Dans le domaine de la conception ingénierique de l'aviation civile, Vincenti (Vincenti, 1990, chap.7) propose une catégorisation des connaissances mobilisées tout au long du processus. Cette catégorisation est intéressante dans le sens où elle postule « *une inséparabilité entre les connaissances et leur application pratique* ». Elle distingue 6 catégories :

- i) notions fondamentales de conception (ex. la propulsion, la portance. Ils sont appelés « *principes opérationnels* », et n'ont pas une origine scientifique, mais servent un objectif technologique) ;
- ii) critères et spécifications (qui traduisent les buts généraux de type qualitatif en objectifs quantitatifs précisés en termes concrets, dont l'ingénieur a besoin pour continuer la conception, au contraire du scientifique dans une activité orientée vers la compréhension) ;
- iii) outils théoriques (méthodes et théories mathématiques, concepts intellectuels tels que la force, la masse, l'efficience, etc) ;
- iv) données quantitatives, à la fois descriptives et prescriptives;
- v) considérations pratiques (ex. l'augmentation du poids à vide d'un avion est utile jusqu'à un certain point, si elle permet d'augmenter la portance seulement);
- vi) instruments de conception, qui sont davantage de l'ordre de la procédure, de la compétence de jugement dans des suites d'actions précises, et sont majoritairement tacites.

Vincenti propose cette catégorisation pour l'activité ingénierique, affirmant que l'activité d'ingénierie se différencie de l'activité de recherche académique par le fait qu'elle nécessite de travailler sur des objectifs très concrets et spécifiés dans les dispositifs à créer selon des critères quantifiés (catégories des « *critères et spécifications* »). Ce faisant, il fait reposer cette catégorisation exclusivement sur les objets, les contenus des connaissances cette fois-ci. De plus, cet auteur précise que toutes les catégories de connaissance n'interviennent pas aux mêmes stades d'une conception (par exemple, il décrit que l'origine d'un changement « *révolutionnaire* » est souvent de l'ordre du « *principe opérationnel* » au niveau d'un objet pensé dans son ensemble, qui donne seulement ensuite lieu à des mobilisations de principes « *traditionnels* » sur des sous-objets, relevant des autres catégories de connaissances).

Cet exemple, qui s'intéresse explicitement aux contenus et selon un rapport à l'action particulier, amène à prendre en compte les oppositions entre manières quantifiées et qualitatives dont la connaissance aborde les objets ou les processus. Ceci me semble déterminant, dans la mesure où, comme cela a été signalé dans le § 2.2.2, l'opposition qualitatif – quantitatif est à la fois une dimension classique de l'opposition faite entre connaissances scientifiques et connaissances expertes ou locales, et une des composantes de la complexité des connaissances non scientifiques (traduite dans l'expression de « *foisonnement du qualitatif* », Delbos 1983). D'autre part, la catégorisation de Vincenti propose que les catégories de connaissances soient mobilisées séquentiellement au cours

de la conception ingénierique. Elle permet alors de penser la catégorisation des connaissances en lien avec une dynamique d'utilisation de ces connaissances.

3.2.2.2 Catégorisation basée sur la différence entre know-what, know-why, know-who and know-how

Lundvall et Johnson (1994) proposent de distinguer différentes connaissances (à l'origine dans le domaine de l'économie) selon quatre classes :

- i) Le « *know-what* » : ce sont des connaissances sur les faits, qui intègrent des observations, des classifications, des mesures. Elles peuvent être considérées comme ce qui est appelé « information » de manière plus commune.
- ii) Le « *know-why* » : ce sont des connaissances scientifiques sur les principes et les lois sur les phénomènes naturels, sociaux et humains.
- iii) Le « *know-who* » : ce sont les connaissances qui correspondent au fait d'être capable d'identifier les personnes qui possèdent potentiellement les compétences nécessaires à un projet d'innovation. Cette catégorie vise à prendre en compte le caractère très interactif des processus d'innovation.
- iv) Le « *know-how* » : ce sont les compétences, « *la capacité de faire différentes sortes de choses sur un plan pratique* », souvent en relation avec des contextes précis.

Derrière ces différentes catégories, se retrouvent, d'une part, des niveaux d'organisation des données (les informations, les lois et mécanismes), et, d'autre part, des compétences (savoir identifier les personnes ressources, savoir réaliser une tâche). Les distinctions portent donc davantage sur « ce que les agents font lorsqu'on dit qu'ils connaissent, ce qu'est le fait de savoir » (c'est-à-dire, rappeler une information en mémoire, agencer des théories et abstractions pour construire une explication d'un phénomène, activer un réseau social souvent appelé *capital social*, réaliser une action implicitement sous-tendue par une diversité de connaissances non explicitées), que sur des éléments de contenu des connaissances en lien avec un domaine d'application particulier, et les processus raisonnés d'action qu'elles permettent. Cette catégorisation, bien que n'étant donc pas spécifique au domaine agricole, y a été remobilisée de nombreuses fois (Baars, 2011; Ingram, 2008b; Ingram & Morris, 2007; Klerkx & Proctor, 2013). Nous illustrons ici les résultats d'analyses basées sur ces distinctions, et les limites qu'elles représentent pour comprendre les mobilisations de connaissances dans le changement, en présentant un seul exemple.

Ingram (2008b) a étudié les connaissances mobilisées à la fois par les agriculteurs et par les conseillers autour des pratiques durables de gestion des sols. Elle conclut sur la nécessité d'une « *amélioration des éléments de « know-why» liés à des connaissances scientifiques, reliant les mauvaises pratiques de gestion et leurs conséquences, et une amélioration des éléments de « know-how» liés à la connaissance tacite qui permet aux agriculteurs d'examiner le sol et d'interpréter ce qu'ils voient* ». Pour cela, elle préconise, d'une part, l'explication par les formations et les démonstrations, et d'autre part, de développer des dispositifs permettant aux agriculteurs d'apprendre par la pratique, à la fois dans les événements de démonstration, mais aussi par l'expérience vécue sur la ferme. Ce travail ne permet cependant pas de conclure sur les besoins en termes de contenus agronomiques des connaissances mises en jeu : l'explication scientifique des

conséquences des pratiques peut mettre en jeu une large diversité de mécanismes à étudier, et une toute aussi large diversité de manières de les étudier, et donc de les formaliser. Comment doit-on étudier ces processus ? Comment précise-t-on le besoin de compréhension des conséquences des actes techniques pour guider les agronomes dans leurs recherches ? D'autre part, si une amélioration des capacités à regarder et examiner les états du sol doit être améliorée, comment savoir ce qui est à développer ? Quelles méthodes d'observation et sur quels types d'indicateurs peuvent-elles se baser ?

Le risque que nous associons à l'utilisation d'une telle catégorisation, générique dans le sens où elle ne permet pas de spécifier les distinctions dans le champ d'un domaine d'application particulier, est de finalement aboutir à des oppositions générales entre, d'un côté, les agriculteurs qui disposent d'un « *know-how* » très efficace mais de peu de « *know-why* », ayant ainsi une approche « *large* » mais superficielle des processus et, de l'autre côté, les agronomes de la recherche et du développement qui développent beaucoup plus de « *know-why* », avec une approche plus « *profonde* » (Ingram et al., 2010). Ceci revient au constat d'opposition, dont on a déjà évoqué la stérilité pour comprendre le lien entre connaissances et action dans l'activité des agriculteurs. En effet, cette catégorisation ne nous semble pas permettre de dépasser celle de connaissances scientifiques et non-scientifiques.

3.2.2.3 Catégorisation basée sur le tacite et l'explicite, l'individuel et le collectif

La catégorisation de Lundvall et Johnson présentée précédemment repose sur des distinctions plus générales, entre les connaissances explicites et les connaissances « *tacites* » (Polanyi, 1958) : « *Often [the know-how] cannot be transformed into codes understandable by others; often you cannot even describe for yourself how you do things* » (Lundvall & Johnson, 1994). Pour Polanyi (1958), le terme de connaissance « *tacite* » désigne le fait de savoir faire quelque chose sans être capable d'expliquer ce que l'on fait, donc une connaissance ineffable, mais ayant un impact significatif sur la manière de penser et d'agir. Elle est considérée comme très liée aux façons d'appréhender le monde, aux valeurs, à l'expérience personnelle. Cette caractéristique met en avant les formes d'« incorporation » des connaissances, c'est-à-dire la manière dont elles sont intégrées dans l'activité propre d'un individu ou d'un collectif d'individus. Ainsi Nonaka et Takeuchi (1995) associent cette opposition tacite-explicite, à une opposition entre connaissances individuelles et connaissances partagées au sein d'un collectif. Ces deux pôles leur permettent de décrire les dynamiques d'apprentissage et de partage des connaissances (Nonaka, 1994) qui permettent de passer d'une forme à une autre de connaissance (*socialisation* du tacite vers le tacite, *extériorisation* du tacite vers l'explicite, *combinaison* de l'explicite vers l'explicite, *intériorisation* de l'explicite vers le tacite). Cette approche considère finalement différentes formes d'une connaissance qui est identique par son contenu, mais dont chaque forme permet quelque chose que les autres ne permettent pas.

D'autre part, ces distinctions reposent sur une conception de la connaissance comme quelque-chose qui est *possédé* (soit par un individu, soit par un groupe d'individus). Ces deux limites amènent Cook et Brown (1999) à repérer deux épistémologies : une « *épistémologie de la possession* », et une « *épistémologie de la pratique* ». La seconde vise à compléter ce que permet de prendre en compte

la première, c'est-à-dire d'« être capable de parler du travail épistémique¹⁹ réalisé par l'action humaine elle-même, à propos de ce qui fait partie de la pratique autant que ce qui est possédé par l'intellect ». Ils distinguent donc ce qui est possédé, la connaissance, de ce qui fait partie de l'action, le « knowing ». Ainsi, « comprendre la dimension épistémique de l'action des individus ou des groupes nécessite de parler à la fois des connaissances qu'ils utilisent dans l'action et du knowing qui fait partie de leur action ». Cette approche introduit donc une dynamique dans l'étude des connaissances, qui propose de mieux prendre en compte comment, en utilisant les connaissances comme des outils pour le knowing, les capacités à agir et à innover évoluent²⁰. On ne considère plus que chaque forme de connaissance se convertit en une autre, mais que chacune est utilisée pour acquérir l'autre. D'autre part, le knowing amène directement à analyser les processus de connaissances dans les interactions, à la fois physiques et sociales.

3.2.3 Définir ce que peuvent être des « connaissances actionnables » ?

Les questionnements sur la mobilisation de connaissances spécifiques pour l'action a conduit certains auteurs à proposer le terme de « connaissances actionnables ». A notre connaissance, le terme « *actionable knowledge* » a été proposé pour la première fois par Argyris (1995, 1996), pour désigner « un savoir à la fois valable et pouvant être "mis en action" dans la vie quotidienne ». La notion d'actionnabilité vise, d'une manière générale, à rendre compte de la nécessité que les connaissances soient reconnues à la fois sur les plans académique et de la pratique (Adler et al. 2003, cités par Tenkasi & Hay, 2004), et permettent ainsi de combler le « fossé » de pertinence entre science et pratique (Avenier, 2009a; Hatchuel, 2005).

Le terme d'« actionnabilité » des connaissances a donc été principalement mis en rapport avec des propriétés de pertinence. Cette pertinence n'est pas vue comme une qualité, évaluable ex-post, d'une connaissance produite, mais en lien avec les démarches de recherche particulières qui produisent les connaissances. Les auteurs cités insistent ainsi bien davantage sur la remise en cause d'une épistémologie positiviste et de la vérité, implicitement ou explicitement, et invitent à la remplacer par des épistémologies de l'action (Hatchuel, 2005), ou constructivistes (e.g. Avenier & Schmitt, 2007). Ainsi, une grande partie des travaux traitant de connaissances actionnables associent leur production à des processus de recherche-action (e.g. Argyris, 2000; Avenier, 2009b; Gustavsen, 2004; Theau et al., 2010; Vall et al., 2010) qui s'inscrivent dans ces épistémologies. La question de l'actionnabilité est alors abordée comme une problématique davantage liée à la production des connaissances, qu'à leur mobilisation pour une action efficace.

D'autre part, les auteurs qui mobilisent le terme de « connaissance actionnable » ne produisent pas une description spécifique de ces connaissances, qui proposerait une nouvelle manière d'en regarder les contenus, mais se réfèrent à une large diversité de cadres théoriques préexistants.

Par exemple, Meinke *et al.* (2006) s'appuient sur les critères de pertinence, crédibilité et légitimité proposés par Cash et al. (2003). Dewulf et al. (2005) se réfèrent aux distinctions entre tacite et

¹⁹ Le « travail épistémique » se réfère « au travail que les personnes réalisent pour acquérir, confirmer, déployer, ou modifier ce qui doit être connu de manière à faire ce qu'ils doivent faire ».

²⁰ « We must see knowledge as a tool at the service of knowing not as something that, once possessed, is all that is needed to enable action or practice » (Cook & Brown, 1999).

explicite et entre individuel et collectif, ainsi que sur les processus de conversion de Nonaka et Takeushi (1995), que nous avons décrits plus haut.

Avenier (2009b; Avenier & Schmitt, 2007) fait une proposition méthodologique autour du concept de savoir actionnable, dans un cadre épistémologique constructiviste radical²¹. Elle insiste sur la nécessité d'un partenariat avec les praticiens pour la production de savoirs avec l'intention d'actionnabilité. Les « *savoirs génériques actionnables* » (Avenier & Schmitt, 2007) sont le résultat d'une décontextualisation verticale, qui relève de la conceptualisation par le chercheur. Ils nécessitent toujours une contextualisation par le praticien qui consiste en une « *reconstruction du sens de ces savoirs* ». Ce savoir générique actionnable vise alors surtout à « *fournir des repères pour susciter le questionnement, la réflexion, l'action créative* » (Avenier et Schmitt 2007). En cela, elle aborde, par le concept d'actionnabilité, la caractérisation d'une connaissance quant à sa capacité à construire, chez le praticien, une capacité d'action. Cependant, rien ne permet de construire une clé d'identification et de distinction de ce que sont ces savoirs.

Mais est-ce que construire une clé d'identification et de distinction des savoirs actionnables est possible par une voie directe d'analyse des connaissances? Pålshaugen (2004) insiste par exemple sur le fait que *“What actionable knowledge is, is not to be declared; the theoretical reasons why some knowledge should be used are not at all necessarily the same as the practical reasons why some knowledge is really used. Thus, to create some new knowledge about what actionable knowledge is, what its main attributes are, etc., we have to take real uses of knowledge as our point of departure, not the virtual use what is simulated in the arguments for what might happen if this knowledge were put to use.”* Cet auteur suggère ainsi que l'utilisation du concept de connaissance actionnable a davantage de sens dans une compréhension des processus d'utilisation de connaissances que dans une tentative de description directe des connaissances qui pourront être utilisées.

Ces travaux insistent donc sur l'actionnabilité comme la caractéristique que peut avoir une connaissance d'être compréhensible, pertinente et légitime pour praticiens et scientifiques. Pour autant, les catégories mobilisées pour les décrire portent d'avantage sur leurs modes de production, que sur leurs potentialités de mobilisation. Finalement, l'idée principale est que le moyen privilégié de produire des connaissances actionnables est la recherche-action. Mais ce faisant, ces auteurs semblent négliger la mobilisation par les agriculteurs, dans et pour leur action, d'un grand nombre de connaissances, de concepts et de théories qui n'ont pas été créés par ces démarches.

Pourtant, parler de connaissances actionnables est un moyen de se placer dans une approche des connaissances qui vise à comprendre leur mobilisation dans l'action, la manière dont l'action et les connaissances se croisent et ce que cela permet de dire sur le contenu des connaissances (Avenier & Schmitt, 2007; Pålshaugen, 2004). C'est une manière de mettre l'accent sur ce lien entre

²¹ « Le paradigme épistémologique constructiviste radical postule que l'expérience qu'un humain a du monde qui l'entoure est connaissable mais que les humains ne peuvent pas connaître rationnellement un monde indépendant et objectif au-delà de l'expérience qu'ils en ont. Les humains expriment cette connaissance sous la forme de constructions symboliques appelées représentations. Celles-ci ne prétendent pas constituer des images iconiques (miroirs fidèles) du réel qui induit ces expériences, mais des images qui conviennent fonctionnellement, c'est-à-dire qui fournissent des moyens d'agir et de penser perçus comme aidant à cheminer intentionnellement dans le monde ». Avenier (2009)

connaissances et action en ne prenant pas comme catégories celles de connaissances scientifiques et locales. C'est ce que Mormont (2007) propose dans une métaphore de l'escalade : « [Se] *demander quelle prise ces énoncés donnent sur la réalité, et à qui ils donnent cette prise. Nous laissons ainsi de côté la question de savoir si nos énoncés sont vrais ou faux (ce qui est une question qui vaut pour nous, dans notre monde), ou de savoir si nos interlocuteurs ont une appréhension vraie ou fausse, pour nous demander ce que ces énoncés leur permettent de faire* ». En ce sens, « *il s'agit moins d'objectiver ou de caractériser de manière précise la falaise (sa pente, sa hauteur, sa rugosité) que de savoir quel genre de prise elle offre à tel ou tel grimpeur selon ses propres aptitudes, stratégies, habitudes, ambitions ...* ».

Les distinctions entre tacite et explicite, entre individuel et collectif, et entre connaissance possédée et *knowing* ne permettent pas de spécifier une manière de s'intéresser aux contenus agronomiques des connaissances, mais nous amènent à considérer que les connaissances ne sont pas seulement mobilisées dans l'action, mais constituent aussi l'action elle-même. Elles nous invitent également à une approche des connaissances dans leur aspect dynamique, et non pas comme des éléments statiques issus d'un stock, qui sont mobilisés et organisés, à un moment donné, pour une action.

Il nous faut donc disposer de moyens permettant de caractériser les contenus de connaissances qui permettent à la fois :

- De tirer des enseignements spécifiques au domaine d'application agricole ;
- De dépasser la distinction entre connaissances scientifiques et non-scientifiques pour parvenir à renseigner comment l'une comme l'autre de ces formes permet de faire évoluer les capacités d'action ;
- Prendre en compte le fait qu'une partie des processus de connaissance sont indissociables de l'action située (Cf. la « *générative dance* » de Cook et Brown, 1999) ;
- De voir en quoi l'interaction avec les éléments physiques et avec autrui jouent un rôle dans les processus de construction et de mobilisation de connaissances.

Les descriptions faites des *connaissances actionnables* dans la littérature ne permettent pas directement d'en déduire des contenus agronomiques. Cependant, certains auteurs montrent que l'intérêt de ce concept est d'aborder les questions de connaissances (et notamment lesquelles devraient être produites par les scientifiques et comment) en ne cherchant pas à les décrire directement, mais en visant une compréhension de leur usage dans des situations d'action. Ceci m'amène, dans la partie suivante, à décrire les outils théoriques et méthodologiques qui peuvent permettre de faire une analyse de ces *usages* de connaissances.

3.3 Les apports de la didactique professionnelle pour étudier la construction d'une capacité d'action dans les situations de re-conception

La didactique professionnelle vise à analyser la formation des compétences dans le travail, c'est-à-dire au cours de l'exercice de l'activité professionnelle. Elle repose sur « *une étude des processus de transmission et d'appropriation des connaissances en ce qu'elles ont de spécifique par rapport aux contenus à apprendre* », mais se concentre bien plus sur l'activité que sur les savoirs (au sens de connaissances institutionnalisées par un champ disciplinaire)(Pastré et al., 2006). Pastré (2006) indique bien que « *la connaissance, qu'il faut alors distinguer du savoir, n'est pas quelque chose d'extérieur à l'activité, mais quelque chose d'inscrit en elle et qui sert à l'orienter et à la guider* ». Cet auteur distingue par ailleurs une conceptualisation pragmatique d'une conceptualisation épistémique en soulignant « *qu'il ne faut pas confondre théorisation et conceptualisation et qu'il y a une conceptualisation spécifiquement dédiée à l'action, qui sert à guider et orienter l'activité et non pas à construire des savoirs* » (Pastré, 2011b)²².

Je propose de décrire deux propositions théoriques centrales des didactiques professionnelles, qui guident particulièrement l'analyse de l'action et surtout de la manière dont elle met des connaissances en jeu. Dans un premier temps, je présente ce qu'apporte la reconnaissance d'une conceptualisation dans l'action pour guider l'analyse d'éléments cognitifs précis dans l'action (3.3.1). Dans un second temps, j'insiste sur une deuxième proposition théorique qui permet de prendre en compte comment l'action est influencée et adaptée à la situation, et sur quelle forme de connaissance repose cette adaptation (3.3.2).

3.3.1 La conceptualisation dans l'action

Comme Mayen (2008) l'indique quand il parle d' « *intégrer les savoirs à l'action* », ce qui est visé est la formation de la capacité d'agir (penser et agir en situation). Dans cette posture, « *concepts et connaissances engagés dans l'action peuvent être d'origines différentes : issus de l'action, de l'interaction avec d'autres, de l'enseignement* », mais ce qui importe est qu'ils soient insérés dans des systèmes organisateurs de l'action (Mayen 2008). Vergnaud propose le concept de schème (Vergnaud, 1990b, 2011), qui désigne une organisation invariante de l'activité pour une classe donnée de situations. Le schème vise à permettre une analyse de l'activité en équilibrant les caractéristiques invariantes et celles liées à l'adaptation aux situations. Ainsi, Pastré et al. (2006) précisent que « *c'est l'organisation de l'activité qui est invariante, et non l'activité elle-même ; le schème s'adresse à une classe de situations, non pas à une situation singulière ; il a justement une fonction adaptative, ce n'est pas un stéréotype* ».

Un schème est toujours constitué de quatre types d'éléments :

- Un but, des sous-buts : ils forment la composante intentionnelle du schème ;

²² Je ne traite ici de la conceptualisation que sous l'angle des travaux de didactique, mais c'est bien entendu un processus qui a été abordé par d'autres courants de recherche (voir (Vidal-Gomel & Rogalski, 2007) pour une revue). C'est néanmoins la didactique et le concept de schème qui m'outille le plus directement pour l'analyse des processus de connaissance dans l'activité de re-conception des agriculteurs.

- des règles d'action et de prise d'information et de contrôle qui engendrent le décours temporel de l'activité ;
- les invariants opératoires : les connaissances contenues dans les schèmes, qui sont distinguées en « concepts-en-acte » et « théorèmes en acte » ;
- des inférences « *qui permettent d'estimer en situation, les conséquences des informations recueillies, combinées aux propositions tenues pour vraies, pertinentes, acceptables* » (Mayen 2008).

Les « concepts-en-acte » et « théorèmes-en-acte » sont des « *propositions tenues pour vraies sur le réel* » (Vergnaud 1990). L'idée qu'apporte le schème est que la forme opératoire de la connaissance est première, et que c'est elle qui permet de comprendre comment l'action est organisée. Et Vergnaud (1990) précise que le schème est « *une totalité dynamique organisatrice de l'action* ». Ce n'est pas une structure figée mais une organisation des connaissances pour l'action, reconfigurée par ce qui émane de la situation. Tous les éléments du schème sont en relation. En conséquence, « *il faut penser la transformation d'un composant en liaison avec les autres composants. [...] Les savoirs produits par la recherche peuvent aussi être des concepts, des règles d'action, des modes d'exécution de l'action, des buts. Lorsqu'ils deviennent des savoirs à enseigner, ils ne peuvent prendre leur sens que dans l'intégration à la totalité dynamique qui organise l'action* » (Mayen 2008).

3.3.2 Structure conceptuelle des situations

Pastré (1999) aborde ces invariants de l'organisation de l'action d'une manière à rendre plus complètement compte du rôle de la situation dans la construction de ce qu'il appelle les « *concepts pragmatiques* », par un « *processus par lequel un agent se rend maître d'une situation, c'est-à-dire parvient à organiser son activité de manière à orienter de façon efficace la situation par rapport à ses propres buts* ». Un concept pragmatique i) est construit dans l'action (son origine n'est pas théorique mais pratique), ii) est un concept organisateur de l'action (il permet d'identifier les classes de situations dans lesquelles un acteur se trouve), iii) a une dimension sociale (Pastré, 2006; Pastré et al., 2006). Ces concepts pragmatiques prennent donc sens lorsqu'ils sont combinés à un ensemble de variables, et d'indicateurs (« *des observables, qui permettent de donner une valeur actuelle aux concepts et dont la signification a été construite de telle sorte qu'elle relie observables et concepts* », *ibid*). Pastré (1997) appelle « *structure conceptuelle de la situation* » la mise en réseau, pour rendre l'action efficace, des concepts pragmatiques, variables et indicateurs. Ce réseau s'étend avec l'expérience, et c'est sa structure qui devient invariante dans l'organisation de l'action (Pastré, 2004).

Pastré insiste sur la distinction à faire entre conceptualisation épistémique et conceptualisation pragmatique. La maîtrise et la réalisation de l'action en situation nécessitent une pragmatisation des concepts scientifiques qui y sont insérés. Dans cette pragmatisation, la situation joue un rôle déterminant, en ce qu'elle permet la création des multiples liens entre les concepts, qui sont au centre des schèmes, et l'ensemble des indicateurs et variables qui servent à construire les inférences. Cela m'amènera à porter une attention particulière à la façon dont les connaissances mobilisées par les agriculteurs permettent de faire référence à des classes de situations, mais également à leurs interactions avec les indicateurs qui permettent l'identification de ces classes.

Le concept de schème offre bien des repères pour analyser l'action de manière à décrire les connaissances qui y sont mises en jeu. En proposant une diversité de constituants à identifier pour l'action dans une classe de situations, c'est leurs interactions et leur organisation qui forment finalement la connaissance qui permet d'agir. Analyser les connaissances qui équipent l'action revient donc à mettre en lumière tout ce qui permet de faire évoluer à la fois chacun des constituants et leur réorganisation. La structure conceptuelle de la situation insiste sur le fait que cette réorganisation est permise, dans une interaction essentielle avec la situation, par la mise en réseau des constituants du schème. Cette mise en réseau est dynamique, et s'organise autour des concepts pragmatiques qui sont issus de la pratique. Analyser la connaissance pour l'action en situation, c'est donc aussi analyser la manière dont l'acteur acquiert une maîtrise de la situation par ce qu'il y vit et observe.

Conclusion 3

Dans cette partie, le caractère polysémique du terme de connaissance a été souligné. Cependant, il ressort que c'est le concept de connaissance, au dépend de ceux d'information et de savoir, qui est le plus à même de permettre une analyse tenant compte de liens à l'action, et en particulier l'action à l'échelle individuelle, située. J'ai établi que les catégorisations des connaissances, en général et appliquées au domaine agricole, sont très variées selon l'objectif qu'elles poursuivent. La majorité d'entre elles conservent une distinction entre connaissances scientifiques et expertes qui n'est pas orientée vers la compréhension de la construction de la capacité d'action de l'agriculteur, et débouchent principalement sur des conclusions liées aux modes de production et de mise à disposition des acteurs. En conclusion, pour analyser spécifiquement le cas de la re-conception de systèmes de culture et les connaissances qui la permettent, il est moins approprié de conserver une catégorisation a priori que de la construire. Néanmoins, les travaux présentés dans cette partie ont permis de relever des aspects de distinctions possibles pour s'intéresser aux contenus de connaissances. Ils amènent également à opérer un glissement dans la démarche d'analyse des connaissances: ne pas s'intéresser à les caractériser directement en en fournissant des attributs généraux théoriques, mais passer par l'analyse de leur mobilisation dans les situations d'action pour comprendre en quoi elles apportent des moyens aux acteurs pour la réalisation de leur activité. La didactique professionnelle fournit des outils théoriques adéquats pour ce type d'étude des connaissances. Elle ne donne pas directement une théorie des mobilisations de connaissance pour le changement, mais permet d'orienter l'observation, et donc un processus de catégorisation.

4 CONSTRUCTION DES QUESTIONS DE RECHERCHE

Dans ce qui précède, j'ai montré la nécessité d'aborder les changements de pratiques agricoles en termes de re-conception, ainsi que l'intérêt du concept de système de culture pour cela. Re-concevoir un système de culture implique des activités et des ressources spécifiques, et nous avons vu qu'il est pertinent de les distinguer selon les acteurs que sont les agronomes de la recherche, les agronomes du développement et les agriculteurs. Je m'intéresse en particulier à l'activité de re-conception de système de culture par l'agriculteur, dont on a vu qu'elle mettait en jeu plusieurs changements techniques appliqués de manière progressive, ce que les agronomes qualifient de re-conception *pas-à-pas*. Le choix du cadre théorique du système de culture induit une certaine délimitation, et donc des bornes dans lesquelles sont pensés le changement et la re-conception des pratiques agricoles par l'agriculteur. Je serai donc attentif dans ce travail à questionner ce concept de système de culture et discuter de sa pertinence pour comprendre les changements de pratiques du point de vue de l'agriculteur. Derrière l'expression « action pour un changement technique », dans le cadre d'une re-conception de système de culture, je propose de considérer, à la fois : la construction théorique d'une logique d'action pour une nouvelle pratique, l'adaptation et l'interprétation dans l'application, l'application en elle-même, et le suivi des effets de l'action. L'interprétation, qui prend naissance au cours de l'action et se poursuit dans le suivi des effets et conséquences de l'action, m'amènera à ne pas dissocier l'action concrète de la conceptualisation qui est permise dans l'action.

En effet, il a aussi été démontré que la mise en application de changements vers des systèmes agroécologiques pose des besoins spécifiques quant aux ressources qu'elle requiert, auxquels les apports des agronomes, davantage orientés vers une conception de novo, ne répondent pas encore complètement. L'action de l'agriculteur dans ces re-conceptions fait face à des incertitudes liées aux temporalités spécifiques aux processus naturels mobilisés, aux nouvelles fonctions attribuées à des objets naturels qui étaient auparavant peu valorisés, aux états du système peu connus et à la non planification de leur évolution, aux dépendances des effets des pratiques aux situations particulières.

Il a été établi que c'est en termes de connaissances qu'il convient de chercher un possible renouvellement de ces ressources pour la re-conception. Il n'y a pas, comme nous l'avons vu, de consensus sur ce qui est désigné par « *connaissance* ». D'une manière générale, nous repérons qu'elle désigne une diversité d'objets, matériels ou théoriques, et d'actions : une proposition tenue pour vrai (un objet théorique explicite) ; des principes sous-jacents de l'organisation d'un outil, d'un concept ou de l'action (un principe implicite d'une structure) ; la façon de se représenter un fait réel ou une partie mentalement délimité du monde (une représentation) ; une capacité à agir et une efficacité socialement reconnue de l'action (un savoir-faire, une compétence). Nous choisissons néanmoins de manipuler le concept de « connaissance », à la fois pour indiquer un questionnement centré sur la construction d'une capacité d'action de l'individu, et non sur la confrontation entre des formes institutionnalisés de « *savoirs* ». Ce concept de connaissances me permet également de ne pas réduire l'analyse à une simple description des formes et qualités des données qui sont organisées et explicitées de manière à être transmises, mais bien signifier l'intérêt qu'on y voit pour comprendre la construction de connaissance par l'acteur qui mobilise ces contenus.

Je fais l'hypothèse qu'il est nécessaire de dépasser la distinction entre connaissances scientifiques et locales (sans pour autant nier les différences qu'il peut y avoir dans les métiers, les stratégies et les valeurs des deux types d'acteurs sous-entendus) pour analyser, du point de vue de l'activité de l'agriculteur, le lien entre différentes connaissances et l'action. Dans le cas du changement technique au cours de processus de re-conception *pas-à-pas*, la pertinence des catégorisations classiques issues de l'ergonomie et de la psychologie cognitive (opposant pour partie ce qui relève de la compréhension de la structure ou du fonctionnement d'un système à ce qui relève de procédures d'action, d'opérations sur ce système) peut être questionnée : on ne peut pas parler d' « utilisation de systèmes techniques », dès lors que l'action est considérée comme composante intégrante du système de culture en transformation (autrement dit, l'action n'utilise pas un système dont elle est indépendante, mais participe à sa construction) ; les connaissances spécifiques, sur les actions connues dans un contexte particulier, font justement partie de celles qu'il faut transformer, et on peut faire l'hypothèse que dans le sens inverse de ce que proposent ces catégorisations, des connaissances sur le fonctionnement puissent y contribuer.

Bien que le concept de connaissance actionnable ne me permette pas de conclure des aspects précis des contenus des connaissances agronomiques, il m'a permis ici de préciser un manque théorique, et donc une ambition de cette thèse, qui est de **passer par les contenus de connaissances agronomiques pour comprendre comment elles permettent à l'agriculteur d'agir dans une situation de re-conception**. (Comment penser la connaissance pour l'action indépendamment de recherches en partenariat ? Est-il possible de penser les exigences de la pratique et de la contextualisation autrement qu'en pensant en termes de démarches en partenariat ?).

Mais j'arrive à deux constats : passer par l'activité de l'agriculteur en situation de re-conception pour analyser ce que sont ces connaissances i) ne peut pas s'appuyer sur une catégorisation des contenus agronomiques *a priori*, et ii) doit se faire en analysant l'action qui, en elle, comporte déjà une part de connaissance.

Cela m'amène à préciser que je vais aborder les connaissances davantage du point de vue des processus de mobilisation dans l'action de l'agriculteur. Séparer processus de production et processus de mobilisation de connaissance peut paraître artificiel. Je fais le choix de m'intéresser à la mobilisation pour essayer d'en tirer des conséquences quant à ce que les agronomes peuvent produire pour équiper efficacement l'action dans les situations de re-conception. Plutôt que de regarder comment intégrer ou formaliser la diversité des connaissances des agriculteurs, il sera approprié de partir de l'analyse de leur activité et de la façon dont ils réalisent le lien entre connaissance et action pour déterminer ce que peuvent être des connaissances mobilisables dans leur action de re-conception.

Pour cela, je propose d'utiliser des outils proposés par la didactique professionnelle, tels que le schème d'action. Il précise une structure dans laquelle devront s'insérer de nouvelles connaissances pour constituer la capacité de l'agriculteur à agir pour le changement technique, c'est-à-dire dans le renouvellement et la variabilité des situations d'action. M'intéresser à ce que sont des connaissances « actionnables » pour le changement dans des situations de re-conception signifie donc pour moi analyser comment les différents éléments mobilisés par l'agriculteur permettent l'évolution et la

reconfiguration des schèmes. Par ailleurs, cela m'amène à préciser que plutôt qu'essayer d'extraire simplement des formes explicitées de connaissances, je vais chercher, dans l'action de l'agriculteur et l'expression de la conceptualisation qu'il en fait ou qui ressort de son récit, ce qui permet de transformer ces schèmes d'action pour permettre d'agir dans des situations de re-conception.

Je propose donc de poser la question générale de la thèse de la manière suivante : Qu'est-ce que l'action de l'agriculteur en situation de re-conception nous enseigne sur les connaissances qui équipent effectivement ces processus ? Autrement dit, je souhaite passer par l'action et la compréhension des processus de mobilisation de connaissances pour déterminer ce que sont les connaissances à produire.

Mon objectif général, dans cette thèse, est donc de **comprendre pourquoi et comment des connaissances permettent la construction de la capacité d'action de changement de l'agriculteur dans des situations de reconception *pas-à-pas*. C'est donc caractériser les contenus de connaissances quant à leur capacité à s'intégrer dans un processus de mobilisation** spécifique des situations d'action de changement technique pour la re-conception. Cet objectif théorique est indissociable, dans ma démarche, de celui **d'apporter aux agronomes des pistes et moyens pour qu'ils puissent outiller les processus de re-conception *pas à pas***. Cela implique, malgré une large mobilisation de théories et concepts qui n'émergent pas uniquement du champ disciplinaire de l'agronomie, **c'est bien en tant qu'agronome** que je souhaite faire vivre cette analyse. Un agronome ne produit pas la même analyse qu'un ethnologue, qu'un sociologue, ou même qu'un didacticien, à partir du moment où il est capable d'interpréter des dimensions agronomiques techniques significatives dans la situation. Or pour atteindre mon objectif, je fais l'hypothèse que ce type de proximité aux situations analysées est approprié.

Ces différents postulats m'ont amené à privilégier une démarche de recherche inductive, dans laquelle trois questions de recherche ont été traitées.

— Première question:

Comment, dans l'action de re-conception, s'articulent les connaissances agronomiques ? Comment peut-on caractériser leur contenu au regard de la manière dont elles s'insèrent dans un processus de mobilisation de connaissances ?

Cette question sera développée dans le chapitre I. Pour la traiter, nous avons construit un outil de caractérisation des connaissances mobilisées au cours de changements techniques réalisés par des agriculteurs en train de re-concevoir leur système de culture. Je présenterai à la fois la façon dont il a été construit, et son utilisation pour analyser et caractériser les dynamiques de mobilisation des connaissances au cours d'un processus d'action pour le changement technique.

Le traitement de cette première question a permis de formaliser une catégorisation des connaissances à la fois spécifique aux situations de changement sur lesquelles se focalise cette thèse,

et permettant d'aborder les contenus de connaissances pour comprendre le développement de la capacité d'action de l'agriculteur. Les dynamiques de mobilisation de connaissances alors mises en lumière m'ont amené à préciser deux autres questions de recherche, de façon à approfondir les processus de mobilisation de connaissance qui seraient les plus à même de permettre un retour vers les agronomes qui souhaitent produire ces connaissances.

→ **Deuxième question :**

Quels sont les indicateurs mobilisés par l'agriculteur en situation d'action de re-conception ? Comment permettent-ils de relier l'évolution de l'agrosystème aux connaissances agronomiques ?

Cette question sera développée dans le chapitre II. Le choix de se focaliser sur les indicateurs résulte du constat, permis par la catégorisation construite au chapitre I, qu'ils permettent d'organiser une large mobilisation de connaissances et de structurer le rapport aux situations agronomiques, l'observation de l'évolution des états du système, et le suivi de l'action, au dépend de connaissances permettant de préciser les incertitudes.

→ **Troisième question :**

Comment sont combinées, dans les situations de re-conception, la mobilisation de connaissances fondamentales génériques sur le fonctionnement de composantes de l'agroécosystème, la prise en compte des singularités de la situation d'action, et les aspects systémiques des changements techniques? Autrement dit, quels sont les processus de contextualisation et d'articulation des connaissances scientifiques génériques qui permettent de construire les stratégies d'action pour le changement ?

Cette question fera l'objet du chapitre III. De la même façon que pour la question précédente, elle dérive de l'analyse produite pour répondre à la première question, qui a mis en évidence une prédominance, dans les premières étapes du changement, de mobilisation de connaissances liées aux fonctions et aux mécanismes d'objets naturels de l'agroécosystème. Le lien à l'action est souvent pensé, par les agronomes, via les spécifications des techniques elles-mêmes, ou via la traduction de connaissances fondamentales en connaissances opérationnelles. Pourtant, les résultats du chapitre I ont montré que les connaissances génériques et fondamentales sont souvent directement mobilisées.

Avant d'entrer dans ces différents chapitres de résultats, je donne dans le chapitre suivant des détails sur la méthodologie de recherche que j'ai poursuivie, notamment dans le choix des situations de re-conception pas-à-pas mobilisées, et les différents dispositifs que j'ai mis en place pour répondre à mes questions.

Partie 2. Démarche méthodologique

J'explique, dans cette partie, l'ensemble de la démarche de recherche suivie, sa cohérence et les choix méthodologiques qu'elle représente. Alors que chacun des trois chapitres de résultats comprend une description des situations étudiées, ainsi que les méthodes employées pour la collecte des données et pour leur analyse, je présente ici, plus en détail, les arguments de choix des situations analysées. L'objet d'étude est l'ensemble des connaissances mobilisées au cours d'un processus de changement réalisé par l'agriculteur : la re-conception *pas-à-pas* de son système de culture. Or, les manifestations concrètes en termes de modifications de l'activité ne sont pas identifiables de manière univoque. Aussi, la stratégie adoptée et les choix qui ont guidé la démarche de sélection des terrains d'étude me semblent importants à exposer. Dans un dernier temps, je présenterai les différentes méthodes mobilisées pour la collecte des données.

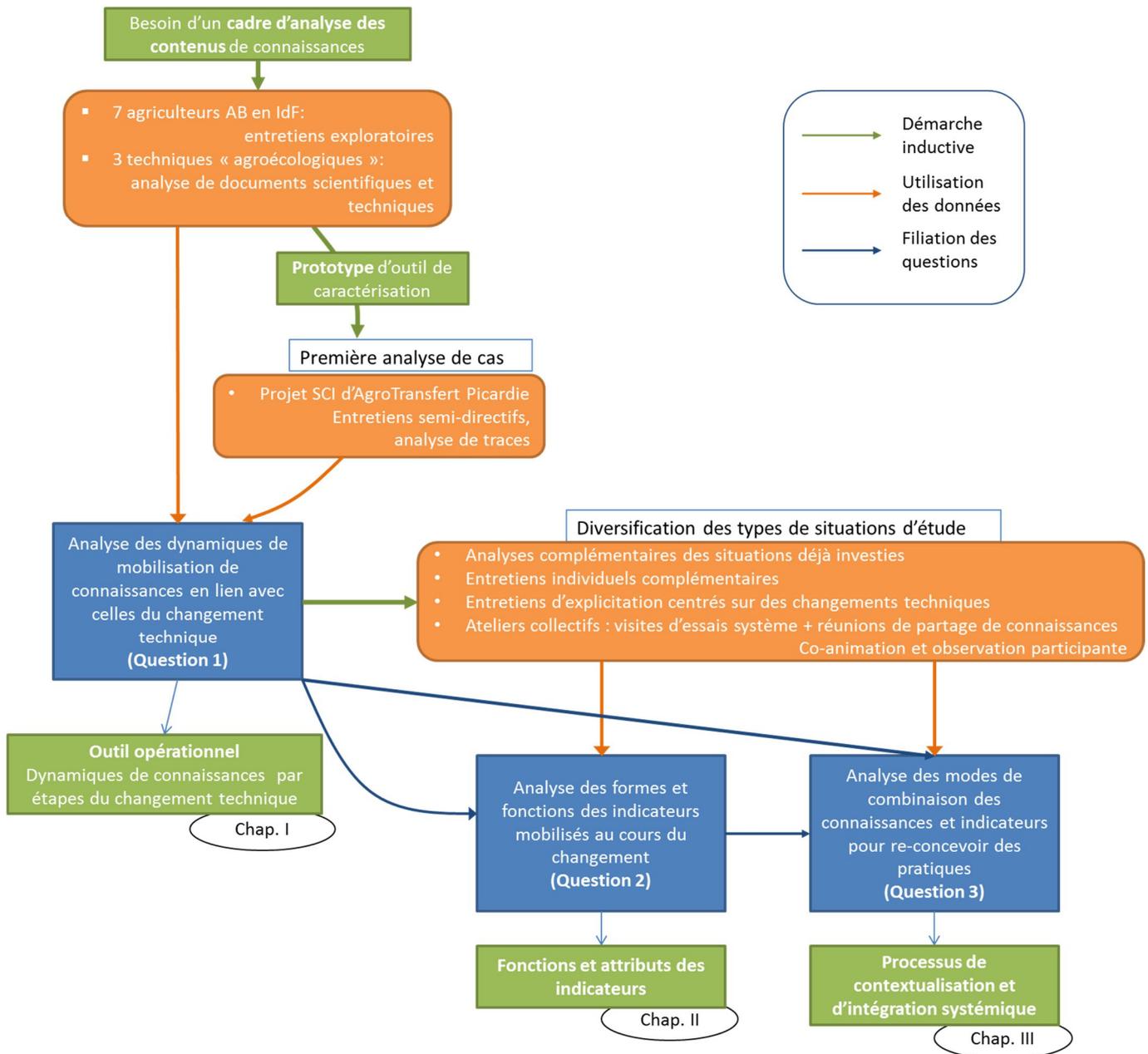


Figure 1: Une démarche de recherche inductive

1 CRITERES DE CHOIX DES TECHNIQUES ET SITUATIONS D'ETUDE

Le principal motif ayant orienté l'identification et la sélection des situations d'étude est l'impératif d'accéder à des processus de re-conception *pas-à-pas* de systèmes de culture. De plus, puisque ce sont les connaissances qui sont au cœur de mon objet de recherche, ce sont les techniques et les re-conceptions orientées vers des systèmes agroécologiques qui ont été sélectionnées. En effet, ce choix correspond à l'hypothèse que la mise en application de principes de gestion agroécologique des systèmes de culture met en jeu des connaissances spécifiques, notamment liées aux objets et processus naturels auxquels de nouvelles fonctions sont attribuées.

Comment identifier une situation de re-conception dans la diversité des situations de changement que nous pouvons observer ? Plusieurs études (e.g. Chantre 2011) ont cherché à associer les niveaux du cadre ESR (Hill & MacRae, 1995) à des pratiques. De fait, certains changements techniques, ont *a priori* plus de potentialités que d'autres pour amener à une re-conception des systèmes de culture. C'est pourquoi, pour le choix des situations, ont été favorisés des changements techniques ayant *a priori* des impacts systémiques, comme par exemple l'introduction d'une nouvelle culture (modification de l'assolement, besoin de penser l'organisation spatiale et temporelle de la nouvelle culture avec les autres, effets de la culture sur les états des sols et sur la conduite de la culture suivante,...), l'introduction de couverts (raisonnement de l'interculture différent avec modification des techniques de désherbage, de la technique d'implantation du suivant, ...), les divers changements techniques visant un contrôle cultural des adventices (peut amener à raisonner sur l'ensemble de la rotation, renvoie à de nombreuses solutions techniques ciblées sur des éléments ou moments clés du système). Néanmoins, nous restons prudents sur le fait qu'un même changement technique peut être mis en œuvre pour une diversité d'objectifs, dont certains peuvent correspondre à une re-conception du système de culture, mais d'autres non. De même, un changement technique *a priori* associé à une recherche d'efficacité peut finalement s'avérer faire partie d'un ensemble coordonné de changements qui mèneront à une re-conception du système de culture. Identifier des situations de re-conception sur la base des types de changements techniques à l'œuvre comporte donc des limites mais c'est une clé pragmatique de choix des situations, que nous avons retenue.

Pour compléter les critères d'identification et de choix des situations d'étude, les caractéristiques de l'activité de re-conception des systèmes de culture vers l'agroécologie (établies dans la Problématique, et récapitulées dans le Tableau 2) ont également été mobilisées.

Premièrement, ce sont des problèmes et objectifs agronomiques *a priori* complexes, et difficiles à traiter avec les méthodes et techniques déjà connues ou avec une technique unique (e.g. la gestion d'adventices vivaces) qui ont été retenus (Tableau 2, ligne 1). Par exemple, la réduction de l'usage des herbicides sans diminution des marges du système de culture n'est pas un objectif abordable avec une méthode unique et connue, mais demande une exploration de combinaisons de techniques nouvelles, et peut amener à une grande diversité de voies de changement technique (Cf. ceux testés dans l'essai systèmes de culture d'Epoisses, Deytieux et al. 2012).

Deuxièmement, la diversité des situations d'étude a visé à appréhender des étapes différentes du processus de re-conception. L'hypothèse était que ce ne sont pas les mêmes connaissances qui sont mises en jeu à chaque stade d'avancement dans le changement, et surtout que, au cours de la mise en application des changements, ce sont les liens entre les connaissances mobilisées et l'action, les ressources qui permettent de continuer le changement, qui évoluent. J'ai donc cherché à atteindre à la fois des situations de re-conception dans lesquelles les changements techniques étaient en préparation, d'autres dans lesquelles les agriculteurs étaient en train de réaliser un changement technique précis, enfin d'autres dans lesquelles un ensemble de changements techniques avaient eu lieu dans le passé et dont les conséquences sur la re-conception du système de culture était reconnue (Tableau 2, lignes 4 et 5).

Tableau 2 : Critères qui ont orienté l'identification des situations de re-conception d'intérêt pour la thèse, et leurs fondements théoriques.

	Caractéristiques de l'activité	Critères d'identification des situations
Conception (Cf. chap. problématique, § 1.3.1)	1 La nature du problème à l'origine de la reconception sont déterminants : e.g., complexes et peu déterminés, ou compliqués mais déterminés	Identifier les problèmes et les objectifs à l'origine de la re-conception : choix de ceux qui ne permettent pas de déterminer a priori la démarche technique exacte pour les résoudre
	2 Les dimensions sociales des processus de conception sont déterminantes;	Travailler avec des collectifs
	3 l'activité de conception est une activité qui à la fois transforme le réel (productive) et par laquelle les acteurs engagés développent leurs propres ressources pour changer (constructive).	Ne pas viser uniquement des situations de réflexion détachées des contextes d'action
Re-conception de systèmes de culture (Cf. chap. problématique, § 1.3.2)	4 Des environnements dynamiques et des objets du vivant	Inclure des situations de changement en cours pour accéder aux ajustements impliqués
	5 Multiples échelles de temps à combiner Des adaptations nécessaires dans la mise en pratique	Accéder à des stades différents d'avancement dans le changement
Re-conception pas-à-pas vers l'agroécologie (Cf. chap. problématique, § 1.3.4)	6 Pas de cible à atteindre qui serait déterminée comme un système de culture précis	Ne pas déterminer les situations par les types de systèmes de culture précis ciblés
	7 Combinaison des niveaux de décision stratégique, tactique, opérationnel	Accéder à des verbalisations qui concernent les trois niveaux
	8 Non réduite à l'action physique au champ (préparation, suivi, conceptualisation)	Relier les situations d'action physique à des situations de réflexion.

Troisièmement, j'ai essayé d'avoir accès à l'activité de re-conception à la fois dans des situations proches de la réalisation de l'action physique sur les parcelles, et à des situations de réflexion sur ces actions, hors parcelle. Cela répondait à l'hypothèse que l'action pour le changement technique de re-conception se continue dans l'analyse réflexive que l'agriculteur en a, dans la conceptualisation qui dépasse l'empan de temps de l'action productive. Ce choix visait également à accéder à des éléments de connaissances correspondant aux niveaux de décision tactiques et stratégiques, en plus du niveau opérationnel. Ainsi, j'ai choisi d'aborder les dynamiques de changement technique à la fois dans des situations de réflexion détachées des contextes de l'action physique (e.g., entretiens en salle, réunions d'agriculteurs hors parcelles) et des situations plus proches des contextes de l'action dans la

parcelle (e.g., visites de parcelles d'agriculteurs ou de station expérimentale) (Tableau 2, lignes 3 et 8).

Enfin, en prenant en compte le fait que la re-conception est en partie un processus social, les situations d'étude ont également été choisies de manière à pouvoir compléter des approches individuelles (e.g., entretiens avec un agriculteur) par des analyses de dynamiques collectives (e.g., analyse de traces, observation directe ou animation de réunions d'agriculteurs engagés dans un processus de re-conception de systèmes de culture) (Tableau 2, ligne 2).

Je présente par la suite l'ensemble des situations mobilisées et les choix qu'elles représentent, puis les méthodes de collecte et de traitement des données qu'elles ont permis de combiner.

2 DESCRIPTION DES DISPOSITIFS ETUDIÉS

2.1 Analyse de documentations techniques et scientifiques

J'ai commencé par une analyse de documents techniques et scientifiques. Il s'agissait pour moi de consulter des documents dans lesquels des connaissances étaient explicitées pour identifier des caractéristiques, *a priori* pertinentes pour l'action, de ces connaissances. Les documents sur lesquels j'ai travaillé étaient des documentations scientifiques et techniques portant sur des techniques agroécologiques mobilisables pour des situations de re-conception des systèmes de culture. Le choix de ces techniques s'est basé, d'une part, sur la manière dont elles sont classées dans les travaux d'agronomie se référant au cadre Efficience – Substitution – Re-conception (e.g., Rapport de l'étude Ecophyto R&D, Chantre 2011). Il a également été guidé par : i) les compartiments du système de culture directement et indirectement visés par la technique (pour sélectionner en majorité celles qui visent le contrôle biologique des bioagresseurs), ii) la disponibilité *a priori* de connaissances scientifiques et expertes concernant directement la technique (e.g., le strip-till aurait pu fournir un cas intéressant, mais cette technique reste très peu abordée dans la littérature scientifique, et relativement peu traitée dans la littérature technique), et iii) les échelles spatiales et temporelles sur lesquelles la technique s'étale *a priori*, avec l'objectif d'aborder à la fois des techniques applicables au cours d'une campagne et d'autres sur une période pluriannuelle, à la fois à l'échelle de la parcelle et d'autres mettant en jeu des espaces hors parcelle. Ces critères et les principales techniques explorées sont présentés en Annexe (Annexe 1 -). Trois techniques ont été finalement retenues :

- i) l'implantation de couverts d'interculture comme plantes de service,
- ii) l'introduction de légumineuses dans la succession culturale,
- iii) l'implantation de bandes fleuries au sein ou en bordure de parcelles.

Ces techniques ont également permis de couvrir différents principes agroécologiques (Biggs et al., 2012; Bonaudo et al., 2014) : i) l'accroissement de la diversité génétique au sein des plantes cultivées, ii) le recyclage des nutriments et d'autres ressources, iii) la gestion de connectivités dans l'espace et dans le temps via des plantes non récoltées. Elles ont été utilisées, dans la démarche inductive, comme des exemples *a priori* pertinents pour révéler des caractéristiques de

connaissances et des catégories homogènes. L'hypothèse est donc qu'elles sont représentatives de classes plus larges de changements techniques.

Le nombre, les types et les sources des documents analysés sont précisés dans le chapitre III (Partie 3). En ce qui concerne l'identification des documents techniques, j'ai utilisé à la fois une base de données construite sur les thématiques abordées dans la presse agricole, et des recherches systématiques par mots clés sur les bases de documentation des principaux instituts techniques (e.g., Institut Technique de l'Agriculture Biologique, Arvalis Institut du Végétal, Terres Innovia – ex. CETIOM -, Institut Technique de la Betterave) et des chambres d'agriculture.

2.2 Sept entretiens semi-directifs en Ile de France

Des entretiens individuels ont été réalisés pour confronter les premiers résultats de l'analyse documentaire à des explicitations de connaissances mobilisées par les agriculteurs pour réaliser des changements techniques au cours de la re-conception de systèmes de culture. Pour ces entretiens, nous avons fait l'hypothèse que, pour maximiser les chances de rencontrer des situations de re-conception, nous pouvions nous orienter vers les agriculteurs pratiquant l'agriculture Biologique depuis un temps relativement court. Notre postulat était simplement que des agriculteurs en train de se convertir à l'AB ou en train de stabiliser des pratiques d'AB, avaient des chances de mettre en place des changements techniques d'ampleur. Nous avons donc utilisé une base de données constituée par le Groupement Agriculture Biologique d'Ile de France. Vingt-cinq agriculteurs ont été retenus dans un premier temps, en visant divers types de rotations culturales (nombre de cultures, durée de la rotation, stabilité de la succession de cultures, types de cultures), ainsi que différents stades d'avancement par rapport à la conversion (en conversion, en AB depuis moins de 3 ans, en AB depuis plus de 3 ans et moins de 10 ans). Suite à 10 premiers entretiens, nous avons pu constater que seulement une partie d'entre eux (7) pouvaient être considérés comme engagés dans un processus de re-conception. En effet, dans les autres cas, un système de culture relativement stable était mis en application, et les performances obtenues étaient considérées comme satisfaisantes par les agriculteurs : les changements techniques réalisés correspondaient à des modifications mineures (e.g., substitution d'une culture de par une autre ayant les mêmes fonctions dans le système de culture, souvent encouragée par une demande de l'organisme collecteur uniquement), et très peu de nouvelles connaissances étaient alors mentionnées.

Suite aux premières enquêtes, de nouveaux choix ont été faits pour l'identification des situations d'étude suivantes :

- Ne pas se cantonner aux exploitations en agriculture biologique pour diversifier les types de changement technique rencontrés.
- Ne pas se cantonner à la région Ile de France : l'objectif étant lié à la re-conception et non à l'influence d'un contexte pédoclimatique particulier, rien ne contraignait l'exploration d'une plus grande diversité de contextes, à la fois pour rencontrer davantage de situations de re-conception pertinentes pour mon travail, et pour diversifier les types de changement technique étudiés (e.g., mettant en jeu des cultures non cultivées en Ile de France).

2.3 L'analyse rétrospective d'un projet de re-conception : Systèmes de Culture Intégrés, AgroTransfert Picardie

Il a été établi que la re-conception de systèmes de culture se construit dans un temps long : au-delà d'un changement technique, c'est un ensemble de changements techniques qui participent finalement à une évolution en profondeur d'un système de culture, que l'on peut nommer a posteriori comme une re-conception. Cela m'a orienté vers l'étude d'un projet exemplaire de re-conception pas-à-pas de systèmes de culture : le projet « Systèmes de Culture Intégrés, SCI » (Mischler et al., 2009). A partir de travaux antérieurs sur l'intérêt des itinéraires techniques intégrés du blé tendre d'hiver (Meynard, 1985), il visait à étendre les logiques agronomiques correspondantes à l'ensemble des cultures de la rotation. Basé sur une démarche de re-conception *pas-à-pas* appliquée dans un réseau de 8 fermes participantes déjà engagées alors dans une démarche de réduction d'usage des pesticides (Cf. encadré 1), ce projet a été piloté par AgroTransfert Picardie et réalisé en collaboration avec l'INRA et des chambres d'agriculture. Il a mobilisé un chef de projet, des chercheurs agronomes et des conseillers agricoles. L'analyse des résultats du projet a confirmé les modifications effectives des systèmes de culture pratiqués par les agriculteurs.

Les systèmes de production sont des systèmes céréaliers, avec environ 15 % de surfaces en betteraves. Ce type de fermes, fréquent en Picardie, présente, a priori, assez peu de contraintes en terme d'évolution de la rotation (peu de cultures sous contrats). Les sols dominants sont des sols profonds développés sur limon loessique, typiques du Bassin Parisien, où se concentrent l'essentiel des systèmes de culture betteraviers, le reste étant constitué de sols sableux, argileux ou calcaires. Les premiers sont des sols à forte réserve hydrique et représentent 67 % des surfaces cultivées. Cette proportion de parcelles à fort potentiel est plus faible que dans la moyenne des exploitations picardes.

Le parcellaire est regroupé pour quatre des huit fermes ; il est éloigné et dispersé pour les autres. La surface exploitée se situe entre 130 et 250 ha, et la main d'oeuvre entre 1 et 4 UTH. Six exploitations associent plusieurs activités : présence d'un atelier d'élevage (2/8), double activité du chef d'exploitation (2/8), etc. Tous ces exploitants ont au moins une responsabilité professionnelle dans un groupe de développement, dans un syndicat ou dans un groupe coopératif. Ils sont bien intégrés dans leur environnement socio-économique.

Encadré 1 : description des fermes ayant participé au projet SCI, citation de Mischler et al. (2009)

L'intérêt d'un tel projet était pour moi de pouvoir retracer rétrospectivement les différents changements techniques réalisés, à la fois par des entretiens réalisés avec une majorité des participants (3 conseillers, 2 animateurs du projet, 5 agriculteurs), et par l'analyse de traces de l'activité du groupe (comptes rendus de réunions, évaluation à mi-parcours, diaporamas de présentation des animateurs ou d'intervenants experts). J'ai également pu m'appuyer sur des résultats de précédentes enquêtes réalisées avec les mêmes agriculteurs, pour identifier avant nos entretiens les différents changements réalisés, les objectifs généraux de transformation de l'activité qui ont été explicités et leur évolution au cours du projet.

Ce dispositif a de nouveau permis de préciser les critères qui ont, par la suite, guidé l'exploration d'autres situations liées à la re-conception de systèmes de culture.

Les premiers entretiens individuels ont souligné à plusieurs reprises le rôle qu'ont joué les phases collectives dans les constructions de raisonnements agronomiques pour le changement technique (Tableau 2). Cependant, leur récit par les agriculteurs ne permettait pas d'accéder avec suffisamment de précision aux échanges de connaissances, et à leur transformation, au sein de ces réunions. Cela m'a orienté vers l'observation de situations collectives dans leur déroulement, c'est-à-dire non plus par des entretiens individuels qui permettent de les évoquer, mais par leur observation directe ou leur animation.

Au cours des entretiens, on accède essentiellement à des éléments de rationalisation liés au niveau stratégique. Les éléments de connaissance liés à un niveau opérationnel sont plus difficiles à faire exprimer dans une situation d'interaction détachée de celle de l'action physique de réalisation d'une action. Nous avons donc cherché, dans d'autres dispositifs, à explorer les autres niveaux de décision : en particulier, les observations de groupes d'agriculteurs en train de visiter des parcelles (i.e., situations plus proches de celles de la réalisation de l'action physique) peuvent davantage donner accès à des explicitations de connaissances mobilisées pour un niveau opérationnel.

2.4 Des dispositifs de suivi et d'animation d'interactions collectives

L'analyse du projet SCI ayant confirmé l'importance des phases collectives dans les dynamiques de changements techniques, des situations supplémentaires d'interactions collectives ont été visées. L'hypothèse pour s'intéresser à ces situations collectives était que ces rencontres sont des lieux de création de sens autour de savoirs discutés, d'articulation entre différents savoirs, de construction de connaissances. Par rapport à l'analyse rétrospective du projet SCI, l'intérêt est de suivre des agriculteurs qui sont en cours de changement, voire dans des étapes initiales du changement. Je fais également l'hypothèse que ces situations participent à ce que Gagneur (2010) appelle des *séries* de situations systématiquement observées les unes avec les autres et qui se réfèrent à la réalisation d'une même opération technique, c'est-à-dire qu'elles complètent des situations de prise d'information dans les états du milieu, de préparation de l'action hors parcelle, de visite de parcelles pour relier les observations aux actions et suivre les effets de l'action, d'interactions non formelles avec d'autres agriculteurs, d'interactions avec le conseiller.

Ces situations collectives se déclinent sous deux formes dans mon travail, les visites d'essais systèmes en station d'expérimentation, et les réunions de réflexion de groupes d'agriculteurs.

2.4.1 Visites d'essais systèmes

Le choix de m'intéresser à des visites d'essais systèmes repose d'abord sur le fait que l'observation de discussions entre agriculteurs et agronomes parcourant une même parcelle donne accès à une confrontation à chaud de différentes visions professionnelles, qui se traduit par des points d'attention et des appels de connaissances spécifiques (Bergeà et al., 2008). Les essais systèmes de longue durée en stations d'expérimentation offrent un cadre particulièrement intéressant pour cela. Ces dispositifs sont conçus pour une évaluation expérimentale de la faisabilité, des performances de prototypes d'itinéraires techniques (Meynard et al., 1996) ou de systèmes de culture (Debaeke et al., 2008; Reau et al., 1996), c'est-à-dire de la capacité des systèmes candidats à atteindre les

performances pour lesquelles ils ont été conçus. Toutefois, ils ont aussi été signalés comme des outils potentiellement porteurs de développement de compétences des expérimentateurs, qui ne sont plus en posture d'experts mais bien d'apprenants (Coquil et al., 2011b; Fiorelli et al., 2014), et fournissent donc de potentiels supports pour l'explicitation et la mise en discussion avec des agriculteurs des contenus de ces apprentissages. Pour un agriculteur, un essai système se présente dans une forme proche de ce qu'il a l'habitude d'observer dans ses propres parcelles, ou celles de collègues. Mais il constitue également une manifestation concrète de connaissances agronomiques issues d'un travail de recherche. Cette forme d'expérimentation donne également accès au temps long (en permettant d'accéder aux effets à long terme des innovations techniques testées) et illustre des logiques agronomiques systémiques. D'autre part, puisque l'essai est la manifestation d'une mise en application des techniques, il offre également la possibilité d'aborder des questions liées à un niveau de décision opérationnel. Les visites d'essais systèmes peuvent donc bien être considérées comme révélatrices de situations de changement sur un temps long. Le risque est sans doute d'aborder de manière très décalée l'activité de re-conception de l'agriculteur. Bien qu'on puisse faire l'hypothèse que, lorsqu'il visite l'essai, l'agriculteur garde en tête sa propre situation d'exploitation, celle qui est discutée n'est pas le support de sa propre activité productive. Je fais cependant le postulat que les processus de rappel de connaissances, de construction d'interprétations des états du système observés, d'évaluation des stratégies autant que des procédures opérationnelles, seront proches de ceux qui construisent l'expérience de l'agriculteur dans sa propre situation d'exploitation.

J'ai donc choisi de participer à des visites d'expérimentations systèmes dans les stations INRA d'Epoisses (Chikowo et al., 2009), de Versailles (essai de La Cage, Bertrand et al., 2005), et de Grignon (essai SIC, Colnenne-David & Doré, 2014). Seules les deux dernières sont mobilisées dans cette thèse (Encadré 2). La première n'a rassemblé que quelques agriculteurs face à une majorité de conseillers, et m'a essentiellement servi à préciser ce qu'il était potentiellement possible d'observer et de faire expliciter aux agriculteurs lors de ces visites. La visite de l'essai de la Cage rassemblait un expérimentateur, 10 agriculteurs, 2 animatrices et 2 agronomes chercheurs. Les agriculteurs faisaient partie d'un projet mené par le Parc Naturel Régional du Vexin français, en partenariat avec l'INRA, pour le développement de pratiques orientées vers de meilleures performances environnementales (« Programme Agriculture Durable »). La visite de l'essai SIC rassemblait également 10 agriculteurs membres d'un même groupe Dephy²³, 1 animatrice, 1 expérimentateur, et 2 agronomes chercheurs.

²³ Le réseau Dephy (Démonstration Expérimentation Production de références sur les systèmes économes en pHYtosanitaires) a été créé dans le cadre du plan Ecophyto 2018. Il rassemble des groupes de fermes qui mettent en œuvre ou expérimentent des démarches de réduction d'usage des produits phytosanitaires dans le cadre de systèmes de cultures et sont accompagnées par un dispositif de conseil et de suivi, et vise à accumuler des données agronomiques, environnementales et économiques.

Essai SIC	
Essai de longue durée : > 10 ans – 1ère campagne 2008-2009	
Localisation géographique : Grignon (78) - Sol limoneux - Surface : 6 ha	
→ 4 Systèmes de culture : (3 répétitions, dispositif en blocs, parcelles de 0,4ha)	
<i>Type / objectif du système</i>	<i>Succession culturale</i>
système productif à hautes performances environnementales (de référence),	féveroles d'hiver – blé d'hiver – colza d'hiver – blé d'hiver – orge de printemps (couvert de moutarde avant l'orge)
Système zéro pesticide,	Féveroles de printemps – blé d'hiver – chanvre – triticale – maïs – blé d'hiver (couverts d'interculture devant maïs et chanvre)
Système avec diminution de moitié de la consommation d'énergie fossile,	Blé d'hiver – lin d'hiver – mélange de blé d'hiver et de trèfle – avoine de printemps – féverole d'hiver (couvert de trèfle devant l'avoine)
Système avec diminution de moitié de la production de GES	Féveroles de printemps – blé d'hiver – orge d'hiver – maïs – triticale (différents couverts devant les cultures de printemps)
→ Mesures nombreuses et variées permettant <ul style="list-style-type: none"> - l'évaluation des règles de décision utilisées, - la réalisation de diagnostics agronomiques sur les situations culturales créées, - l'évaluation des systèmes mis en place, - le suivi de l'évolution des états du milieu dans ces systèmes 	
Essai de la Cage	
Depuis 1997	
Localisation géographique : Versailles (78) – sol limoneux profond – Surface : 8ha	
→ 4 systèmes de culture : (2 blocs de 8 parcelles de 0,5ha)	
<i>Type / objectif du système</i>	<i>Succession culturale</i>
système « hautement productif »	colza – blé d'hiver – pois de printemps – blé d'hiver
système « faibles intrants »	Idem (mais fertilisation N et usage de pesticides réduits)
système de semis direct sous couvert permanent	Maïs – blé d'hiver – pois – blé d'hiver (couvert permanent)
système biologique	Légumineuses et blé d'hiver tous les deux ans

Encadré 2 : Types de systèmes de culture expérimentés dans les essais visités.

2.4.2 Les réunions de réflexion de groupes d'agriculteurs: partages de connaissances pour la conception de changements techniques

Un autre type de situations collectives a été mobilisé, celui de réunions en salle d'un groupe d'agriculteurs et d'agronomes (de la recherche et du développement) autour de changements de pratiques. Ces réunions étant orientées vers la construction de stratégies de changements techniques, elles rendent plus largement visibles les mobilisations de connaissances à un niveau de décision stratégique. J'ai participé à (et animé, dans trois cas, voir Tableau 3) 5 de ces réunions. Le Tableau 3 indique les grandes caractéristiques de chacune de ces réunions : le lieu et la structure organisatrice, les acteurs présents, le type de réunion, la problématique technique sur laquelle elle portait, l'ancrage plus ou moins fort de la réflexion aux situations réelles des agriculteurs participants, la façon dont des connaissances étaient apportées et/ou discutées.

Tableau 3 : Présentation des différents ateliers animés et observés durant la thèse

	Atelier de conception de SdC	Ateliers de partage de connaissances pour la conception de changements techniques			
Lieu et structure	RMT SdCi, CETA, Nièvre	CA de Beauvais	Coopérative Corea PC	PNR du Vexin, INRA	AgroTransfert Picardie (ATP), projet AgriBio
Acteurs présents	8 agriculteurs d'un CETA 2 animateurs du RMT SdCi 2 conseillers de chambres d'agriculture	12 agriculteurs en AB 2 conseillers de la CA 1 observatrice d'AgroTransfert Picardie	8 agriculteurs 1 conseiller 1 technicien	7 agriculteurs 3 agronomes INRA 1 technicien du PNR 1 scientifique IRSTEA	9 agriculteurs 2 conseillers CA 3 techniciens CA ou GAB 2 animatrices ATP
Forme de participation	Observation	Animation	Animation	Animation	Observation
Date	17-12-2014	19-02-2014	19-03-2014	09-12-2014	25-02-2014
Type d'atelier	Conception <i>de novo</i> d'un système de culture	Partages de connaissances ciblées sur une problématique commune	Partages de connaissances ciblées sur une problématique commune	Partages de connaissances ciblées sur une problématique commune Test d'un outil d'information	Partages de connaissances ciblées sur une problématique commune Conception de pratiques
Problématique visée pour le changement technique	Réduire la consommation d'énergie sans baisser les marges nettes	La valorisation de la luzerne dans la rotation	La maîtrise du chardon dans les successions culturales incluant des couverts d'interculture	la valorisation des couverts en interculture et en culture	La gestion des adventices vivaces en systèmes de grande culture en AB
Type de relation aux situations d'exploitation (contextualisation des connaissances)	1 situation d'un agriculteur présent	Chaque agriculteur réfléchit pour sa propre situation	Chaque agriculteur réfléchit pour sa propre situation	Chaque agriculteur réfléchit pour sa propre situation	1 situation d'un agriculteur présent
Modes de mise en discussion des connaissances (connaissances apportées)	Présentation d'un expert, animation par facilitateur (méthode des post-it et du métaplan)	Apport d'une diversité de documents techniques et scientifiques que nous avons pré-sélectionnés (Annexe 2 -)	Apport d'une diversité de documents techniques et scientifiques que nous avons pré-sélectionnés (ANNEXE 3)	Apport d'une diversité de documents techniques et scientifiques que nous avons pré-sélectionnés + utilisation d'un outil (AgroPeps) + internet	Présentation d'une synthèse bibliographique effectuée par une animatrice du projet, apports des conseillers
Mobilisés dans la présentation des résultats de la thèse	non	oui	oui	non	oui

Tous ces ateliers ont contribué dans une démarche inductive, au même titre que les entretiens présentés précédemment, à la construction de nos hypothèses, de nos démarches de traitement des données, ainsi qu'à l'amélioration progressive de ma pratique d'animation et d'observation. Cependant, une partie d'entre eux seulement a été utilisée dans les études de cas présentées dans les chapitres II et III: ceux qui offraient individuellement des données suffisamment complètes pour un même type d'analyse. Je n'ai pas retenu ceux pour lesquels : les changements n'étaient pas suffisamment avancés, trop peu d'explicitation ont été recueillies, ou pour lesquels des doutes persistaient sur le fait d'associer les situations à de la re-conception.

3 LES METHODES DE COLLECTE ET DE TRAITEMENT DES DONNEES

3.1 Entretiens individuels semis-directifs

Notre démarche visait à comprendre des processus de mobilisation de connaissances en partant de l'activité de l'agriculteur, de son point de vue, et non pas d'une interprétation externe d'un agronome sur les pratiques d'un agriculteur. Il me fallait donc initier l'échange sur des aspects pratiques de son activité pour accéder ensuite aux aspects cognitifs liés à leur réalisation, aux connaissances reliées explicitement aux actions mises en œuvre et à celles déduites du discours sur l'action.

S'intéresser au changement implique une approche dynamique des ressources cognitives qui permettent à l'agriculteur d'agir. En effet, si l'on considère que l'action liée à une technique est basée sur un schème d'action (Cf. Problématique, § 3.3.1), le cas du changement technique implique de chercher à comprendre comment les constituants de ce schème se réorganisent et d'identifier ce qui permet cette réorganisation. Il ne s'agit donc pas simplement d'amener l'agriculteur à verbaliser ses jugements pragmatiques (Pastré, 2008), c'est-à-dire ce qu'il tient pour vrai pour réaliser son action et qui singularise son appropriation d'une structure conceptuelle de la situation, à un moment précis de réalisation d'une tâche, mais également à exprimer l'ensemble des ressources cognitives qui permettent l'évolution ou la reconfiguration de ces jugements pragmatiques. Dans son travail, Chantre (2011) fait l'hypothèse que les jugements pragmatiques évoluent par accumulation entre deux phases de cohérence agronomique, entre lesquelles intervient un changement de pratiques interprété comme une rupture, mais peu analysé dans son détail. Nous avons choisi justement de nous focaliser sur la reconfiguration qu'occasionne le changement technique pour l'agriculteur. Ceci m'a amené à ne pas me focaliser sur une méthode basée sur les traces de l'activité, telle que l'auto-confrontation (Mollo & Falzon, 2004) couramment employée dans le champ des didactiques professionnelles et dans le programme de recherche du « cours d'action » (Theureau, 2010). En effet, l'action de changement que nous considérons recouvre non seulement la réalisation de l'acte technique, réalisation délimitée dans un temps et un lieu restreints (ex., une journée sur une parcelle de l'exploitation), mais également – et surtout – sa conception et sa préparation, puis le suivi de ses conséquences et la conceptualisation qu'il engendre. Il était donc difficile de délimiter et sélectionner *a priori* les traces les plus adaptées pour engendrer les verbalisations espérées. D'autres travaux dans le champ de l'agronomie ont mobilisé une technique de suivi sur un temps long, via des

supports consignant les informations visées. C'est par exemple le cas de Jourdan (Jourdan, 1990) qui a utilisé des carnets d'enregistrement remplis par les viticulteurs enquêtés au cours du travail, comportant une partie prévisionnelle et une partie de constats. Ce qui m'a amené à ne pas mobiliser ce type de recueil, lourd à mettre en œuvre et à analyser, du fait de la masse et la diversité des éléments potentiellement consignés, est qu'il aurait été difficile de savoir si ce que l'agriculteur y inscrit correspond à ce qui l'a effectivement aidé dans son action, à ce qu'il tient pour vrai à la suite de l'action, à ce qu'il considère consciemment comme une ressource informationnelle interne ou externe à l'exploitation. De même, il y a très peu de chances pour qu'il y ait inscrit les connaissances « *rejetées* ».

Le positionnement de notre objet de recherche entre la tâche et l'activité (Leplat, 1997) m'a donc amené à réaliser des entretiens semi-directifs s'inspirant des méthodes d'entretien d'explicitation (Vermersch, 1994), qui visent à rappeler en mémoire l'expérience exacte vécue lors de l'activité via une remise en situation. Mes entretiens s'en rapprochent parce qu'ils sont centrés sur l'explicitation des actions liées aux changements techniques, et aux éléments de connaissances recherchés. J'ai demandé aux agriculteurs (après une phase de description générale de leurs ateliers de production et des principaux éléments historiques de leur situation d'exploitation) de cibler un changement technique précis qui leur avait demandé/demandait encore beaucoup de réflexion et qui impactait selon eux d'autres éléments ou techniques d'un de leurs systèmes de culture. Cela visait à éviter la projection dans une situation idéale dont la rationalité serait reconstruite a posteriori par l'agriculteur. Mes entretiens s'écartent toutefois de ces entretiens d'explicitation dans le sens où l'action que l'on vise ne se réduit pas aux dimensions procédurales d'une seule situation d'action, mais bien à une série de situations liées au même changement technique. La remise en situation est donc multiple au cours du même entretien, dans le sens où les situations évoquées pour un même changement technique peuvent être celles de l'action dans la parcelle, celle de l'interaction avec un conseiller ou des pairs dans d'autres contextes que celui de l'exploitation. Au cours de ces entretiens, j'ai essayé de repérer les connaissances dans les verbalisations soit des actions et des modalités précises de leur réalisation, soit des raisonnements agronomiques qui soutiennent les actions passées ou futures, soit des expériences vécues et des faits observés dans contextes de l'exploitation ou de parcelles de pairs.

Le détail du guide d'entretien est reproduit en Annexe 4 -.

3.2 Les réunions d'agriculteurs : animation et observation participante

Dans les situations collectives, mon recueil d'information a été rendu plus compliqué, du fait que chaque situation avait son propre objectif et que je devais m'y insérer : visite d'un essai système, atelier de réflexion collective.

Au cours des visites d'expérimentations système, j'ai essayé de mettre à profit le fait d'être témoin de l'observation directe des états des parcelles et des constructions de sens qu'elle permettait. J'ai donc cherché à interpréter les « prises » que les agriculteurs recherchaient pour interpréter un

système de culture, pour comprendre son fonctionnement, pour retracer sa construction et sa mise en œuvre :

- les entités mentionnées ou repérées par les agriculteurs, sur lesquelles portaient les questions de compréhension ou d'interprétation, et qui articulent le raisonnement agronomique. Ces entités pouvaient avoir une position variable dans l'espace (parcelle, fraction d'une parcelle, ensemble de parcelles par rapport à un repère hors parcelle, sole,...) ou dans le temps (stade visible, éléments récents ou fin de campagne, campagne pour la culture en présence, précédent et suivant, rotation entière, ...).
- Les éléments sur lesquels se sont manifestés un désaccord ou une prise de distance par rapport au système présenté : l'intérêt était alors de voir ce que cela révèle sur la façon de construire une représentation du système, et donc de faire le lien avec les connaissances qui sont recherchées pour cela.

Au cours des ateliers de partage de connaissances, nous avons cherché à identifier les formes de connaissances autour lesquelles s'articulaient les discours (connaissances opérationnelles sur le mode d'application d'une technique et son efficacité, connaissances générales sur les formalisations des processus biologiques et physiques au sein du système), les objets visés (ceux directement mobilisés par l'agriculteur tels que les cultures et les outils de travail du sol, ceux indirectement impactés par l'action tels que les auxiliaires, les adventices), les variables identifiées pour distinguer les situations évoquées.

Une limite de ces dispositifs, par rapport aux entretiens, est que nous ne pouvons pas appréhender complètement le processus d'appropriation des connaissances mises en discussion, au-delà de la construction d'un raisonnement au sein de l'atelier. Cela aurait nécessité de rencontrer les agriculteurs par la suite, par exemple en situation de travail sur leur exploitation.

3.3 Méthodes de traitement des données recueillies

Pour les entretiens individuels comme pour les situations collectives, nous avons travaillé à partir de retranscriptions complètes d'enregistrements. Parce qu'elle ne visait pas une diversité porteuse d'une certaine représentativité, la constitution de l'échantillon des personnes enquêtées et des groupes observés impliquait d'orienter le traitement des données recueillies d'abord vers une analyse qualitative. Les codages des verbatim ont varié selon le type d'analyse visé, et seront explicités en détail dans les chapitres de résultats.

Les premières analyses ont contribué à construire un outil de caractérisation des connaissances qui a ensuite permis, à la fois d'améliorer les relances lors des entretiens individuels, et de recouper l'ensemble des cas en extrayant de la richesse des données récoltées celles qui pouvaient être mobilisées dans cet outil de caractérisation (Cf. Figure 1). Pour cela, à partir de l'analyse documentaire et des premiers entretiens, j'ai adopté une démarche proche de la factorisation (Thiéart, 2003, cité par Magne, 2007), qui consiste à identifier des attributs, dans mon cas selon des catégories générales issues des caractéristiques de la re-conception *pas-à-pas* (e.g., domaines des échelles de temps, domaine des incertitudes, domaine des fonctions agronomiques, domaine des

éléments de contextualisation). Le niveau d'abstraction et de conceptualisation des attributs a ensuite été ajusté au fur et à mesure de leur confrontation aux données de nouveaux entretiens ou de nouvelles analyses documentaires. Ainsi, par un processus itératif, j'ai pu aboutir à un prototype d'outil de caractérisation des contenus de connaissances adapté au cas de situations de re-conception vers l'agroécologie.

Ce prototype a été tout d'abord mobilisé dans une étude approfondie d'un cas, le projet SCI, mené par AgroTransfert Picardie. Cette étude a débuté sans un cadre théorique figé, mais avec les premiers éléments de catégorisation, c'est-à-dire un niveau de théorisation relevant de « faits mis en forme » (David, 2003), issu de la phase exploratoire. Nous avons donc considéré que c'était un cas « typique », qui nous servirait pour établir des règles hypothétiques selon un raisonnement inductif.

Par la suite, nous avons mobilisé l'ensemble des situations dans une analyse transversale. Elles ont alors été sélectionnées pour leur pertinence vis-à-vis de la question spécifique traitée. Elles n'ont pas été utilisées comme des expérimentations pour tester des hypothèses, mais comme des situations contrastées pour faire apparaître, de leur diversité, une unité dans les processus de mobilisation de connaissances. L'étude de cas a donc été mobilisée comme une façon d'aborder la complexité de diverses situations, mais avec un regard ciblé par une intention de généralisation sur des dimensions précises de ces cas, qui ne sont pas étudiées de manière longitudinale et approfondie. Dans cette démarche, ce sont les questions et les problèmes dont on l'investit qui font le cas (Passeron & Revel, 2005). Nous avons alors procédé à une utilisation instrumentale de ces différents cas (Stake, 1994).

Une récapitulation de ces cas ainsi que des chapitres de résultats qui les mobilisent est présentée dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Ensemble des cas que les différents dispositifs ont permis d'aborder, et mobilisation dans les chapitres de résultats (Partie 3).

		Chap. I		Chap. II et III	
Cas d'étude		Projet de re-conception de systèmes de culture	Agriculteurs re-concevant leur système de culture	Réunion de partage de connaissances entre agronomes et agriculteurs	Visites d'essais systèmes
		SCI 8 fermes (AT Picardie), 5 agris, 4 conseillers	9, centre, nord et quart nord-ouest de la France	PC, Vexin, Nièvre, AT Agribio, AB Picardie	Cage, SIC
Méthodes		analyse de traces, entretiens semi-directifs	Entretiens semi-directifs individuels	Observation, facilitation	Observation
Avancement dans re-conception		ayant mené une reconception, avec des changements passés	engagés dans la reconception, avec changements en cours	début de reconception (identification d'objectifs, réflexion pour changements possibles)	
Niveaux décision	Opérationnel	+	+++	++	+++
	tactique	++	++	++	+
	stratégique	+++	+	+	
Ce qu'il permet		à la fois analyser rétrospectivement le projet collectif, et des changements réalisés dans chaque situation particulière.	mettre en rapport avec une situation particulière, accéder à différents stades d'avancement dans le changement, explorer une diversité de techniques.	observer directement des mobilisations de connaissances pour construire un raisonnement voire une idée de changement, observer une dynamique collective.	relever les indicateurs discutés dans un groupe directement face à la situation.

Partie 3. Résultats

Chapitre I - Agronomic knowledge for cropping system design: attributes and dynamics of mobilization

Ce chapitre correspond à un article qui a été soumis pour la revue Agricultural Systems. Il a d'abord été accepté avec modifications majeures. Suite à notre révision, alors qu'un relecteur était très favorable à la publication, le second conservait des réticences. Ces dernières étaient principalement liées à un désaccord épistémologique avec la démarche inductive employée pour le type d'analyse proposé dans cet article, et à l'absence d'une formalisation complète d'un cadre conceptuel de la mobilisation des connaissances. Nous prévoyons de le soumettre à nouveau, ayant amélioré l'explicitation de la démarche suivie.

Abstract

In view of the acknowledged need for cropping systems re-design, agronomists have focused their research primarily on formalizing new methods to design innovative systems and to assess them before or after their implementation. Less research has concerned step-by-step design processes, although they generally constitute the reality of change implemented by farmers. Many questions have arisen about the knowledge that underpins such re-design processes. This paper contributes to identifying the attributes of actionable knowledge, and the dynamics of its mobilization.

In our study we built a conceptual framework that characterizes knowledge, based on the analysis of a wide diversity of scientific and technical agricultural documents. We then applied this framework to analyze data collected in thirteen semi-structured interviews with farmers who had made technical changes that significantly modified their cropping systems.

First, our analysis of the knowledge offer, based on documentary research, revealed content specificities according to the different types of sources and within each type. Second, our analysis of the knowledge demand, based on interviews, revealed that the attributes of knowledge that was useful to farmers varied throughout the re-design process. We showed that several attributes of knowledge were mobilized differently during the change process. This furthered our understanding of the dynamic relation between knowledge and action in such processes.

The specific attributes of knowledge that we have identified, and their mobilization according to different progress levels in re-design, could be used to work on the content of knowledge exchanges among farmers, intermediary actors, and knowledge producers (including agronomists), to facilitate change.

Although some authors have already emphasized the need for a dynamic approach to extension services throughout the change process, we have defined a framework of the dynamics of knowledge use in the case of step-by-step cropping system re-design.

Keywords: actionable knowledge, step-by-step re-design process, cropping system, technical change, design.

Highlights

- We built a framework to characterize knowledge useful to cropping systems re-design.
- Written documents from diverse sources were analyzed to produce and test this framework.
- We defined a three-step dynamic in knowledge use throughout the redesign process.
- Knowledge that builds an agronomic logic is needed before quantifications.
- Indicators to monitor and assess changes in the cropping systems are required.

1 INTRODUCTION

It is now widely recognized that implementing sustainable agriculture requires technical, social and organizational innovations to attain the diverse objectives assigned to agriculture (Garb & Friedlander, 2014; Klerkx et al., 2010; Meynard et al., 2012). Among the potential orientations that may enable agriculture to meet these challenges, “ecological intensification”, “ecologization of agricultural systems” (Wezel et al., 2014), and “agroecology” (Gliessman, 1998; Wezel et al., 2009) provide promising models of production. They all call for an improvement of various forms of biological regulations within the agro-ecosystem, from plot to landscape scale, in order to reduce pest pressure (e.g. Bianchi et al., 2006), to control weeds (e.g. Deytieux et al., 2012) or plant diseases (e.g. Loyce et al., 2008) while using fewer pesticides, and to preserve or maintain resources for production – such as soil fertility and structure – and functional biodiversity (Altieri, 1999). They also necessitate an adaptation of farming systems to local conditions and means of production (Horlings & Marsden, 2011), which has led some authors to argue the need for a relocalization of knowledge production (Warner, 2008a). Implementing such principles at farm scale requires the re-design of cropping systems (Hill & MacRae, 1995; Meynard et al., 2001, 2012). However, the process of step-by-step re-design is still hardly known. In fact it implies taking into account the progressive and long-term evolution of the agro-system in relation to changes in on-farm practices (Chantre et al., 2015; Lamine, 2011). Yet agronomic research has until now focused on innovations that break away from existing systems, and the methods that produce them (Lançon et al., 2008; Reau et al., 2012; Vereijken, 1997), rather than on the dynamics of achieving such change.

In this article we focus on the agronomic knowledge dimension of such change. This type of re-design process requires a farmer to acquire or revise knowledge (Doré et al., 2011; Duru, 2013; Jiggins & Roling, 2000), and to mobilize both scientific and local expertise (Doré et al., 2011; Faugère et al., 2011; Girard & Navarrete, 2005; Kloppenburg, 1991; Malézieux, 2012). The incompleteness of adapted knowledge has sometimes hindered an evolution of practices, for instance concerning crop diversification at farm scale (Charrier et al., 2013). A more detailed description is therefore required to understand how certain knowledge efficiently equips farmers in their step-by-step re-design action. It actually goes beyond the distinction between scientific and local knowledge, as some authors have suggested (Agrawal, 1995).

In analyzing knowledge, many authors (e.g. Eshuis & Stuiver, 2005; Ingram, 2008a) have drawn on the framework proposed by Lundvall and Johnson (1994), who distinguished the *know-what* (knowledge about facts: observation, classification, measurement, cataloguing of natural phenomena), *know-why* (knowledge of principles, rules and ideas of science and technology), *know-how* (skills, capability of doing something at a practical level), and *know-who* (knowledge about stakeholders to interact with, which can be seen as social capital). *This framework* has proved to be helpful to identify advisors needed for training (Ingram & Morris, 2007), or different types of knowledge exchange encounters (Ingram, 2008a) between farmers and advisors. Yet the research that produced it mainly addresses an organizational level between several types of actors, without analyzing how knowledge specifically supports farmers’ re-design action. The same can be said for research on knowledge exchanges within groups of farmers (Darré, 1999, 2004; Jordan et al., 2000),

which focuses mainly on the conditions in which these groups can produce new norms and knowledge, rather than on the specific features of knowledge exchanged in such groups. Actually, the need for a knowledge framework anchored in its link to farmers' action echoes research on *actionable knowledge*, a concept introduced by Argyris (1993) and defined as knowledge which “*is not only relevant to the world of practice, it is the knowledge that people use to create that world*” (Argyris, 1993). David and Hatchuel (2007) took up this concept, defining it as *knowledge that allows for the implementation of a unique solution to a contextualized problem*. A few agronomists have also mobilized the concept (e.g. Dewulf et al., 2005), but have not defined its implications for agricultural knowledge production.

It is therefore necessary to characterize knowledge that allows for step-by-step re-design actions, in a way that can give agricultural scientists new targets for agronomic knowledge production. Which specific knowledge makes the engagement in a re-design process and its continuation possible? Which attributes make its mobilization in action possible? Does the knowledge mobilized evolve throughout such a process? Our objectives in this article were to build a framework of knowledge attributes specifically adapted for re-design processes, based on the analysis of documents supposed to assist farmers engaged in such processes, and then to analyze how the different knowledge attributes described are mobilized by these farmers. We show how our framework furthers the understanding of what actionable knowledge is, and helps to investigate the dynamics of knowledge mobilization by farmers in the course of redesign processes.

2 CONCEPTUAL FRAMEWORK

In this paper, the agronomic knowledge described corresponds to all types of cognitive resources that concern biological, chemical and physical processes and their interactions in agro-ecosystems. These resources also concern the farming practices that may influence these processes and all the rules, methods and tools which help to organize and decide on farming practices. Agronomic knowledge corresponds either to explicit assertions, definitions, recommendations or demonstrations, in written documents of any type, or to what farmers mention as part of their reasoning. Thus, the resources considered are not restricted to scientifically produced knowledge, and we did not use the distinction between scientific and local or expert knowledge as a structuring framework for our analysis. For instance, the content of farmers' testimonies may be included in the agronomic knowledge analyzed, insofar as some farmers would mobilize such narratives in their activity. We therefore based our analysis on “know-what” and “know-why” (Ingram & Morris, 2007; Lundvall & Johnson, 1994), much more than “know-how”, even though we considered that the codified knowledge that we analyzed did participate in the transformation and acquisition of the tacit component (Morgan & Murdoch, 2000) of “know-how”.

In order to characterize the agronomic knowledge that supports re-design processes, we built our conceptual framework according to four particularities of the action of technical change in an agroecological approach.

First, we focused on the *formatting of evidences*. In fact, agroecological techniques are considered to be knowledge intensive and requiring social learning (Ingram, 2008a; Kloppenburg, 1991). Agronomic knowledge is thus shared through social interaction, which is necessary to shift a paradigm (Eshuis & Stuiver, 2005; Röling & Jiggins, 1994). To take this interaction into account, along with the fact that knowledge ‘circulates’ (Moity-Maïzi, 2011) rather than just being transferred, we underlined the different ways it is formatted. The term ‘evidences’ signifies scientific evidence as well as farmers’ claims in their testimonies. It refers to *evidence-based* approaches (see for instance Laurent et al., 2009).

Second, we paid specific attention to the *temporality* of the knowledge we analyzed. Farmers engaged in the re-design of a cropping system have to combine short- and long-term decision making (for instance, for weed management, management of seeds’ longevity in the soil, the propagation of populations from year to year, or the dynamics of the seed reservoir, etc. (Deytieux et al., 2012). Third, we focused on the various ways in which *uncertainties* are embedded in knowledge. Farmers engaged in re-design based on natural processes may face numerous uncertainties, related to time lags, emergent dynamics and feedback loops, indirect effects, and strong dependency on local conditions (Voß et al., 2007) that produce an incompleteness of knowledge (Brugnach et al., 2008; Duru, 2013). Many different knowledge propositions can be related to uncertainties, but we focused here on how knowledge explicitly reflects uncertainties.

Finally, we based our characterization of knowledge on the concept of *action scheme*, primarily defined in didactics. It corresponds to an invariable organization of the action in a given class of situations (Pastré et al., 2006; Vergnaud, 1990a, 2002). We base our framework on the components of the action scheme because we posit that implementing agroecological practices requires the farmer to act in a new situation encountered through the technical change, which may necessitate that his/her action schemes evolve or be reconfigured (Vergnaud, 1990a). An action scheme is composed of goals, action rules, and concepts (propositions considered as true, which articulate situation characteristics, goals and rules).

These four axes (formatting of evidences, temporality, uncertainties, and action schemes: see Table 5) structure the conceptual framework that helped us to build a framework of the knowledge attributes mobilized in re-design processes.

Table 5: Conceptual framework for knowledge characterization, based on four aspects derived from specificities of cropping system re-design processes in an agroecological approach.

I	II	III	IV
formatting of evidences	temporality	uncertainties	action scheme

3 MATERIAL AND METHODS

To build a framework of knowledge attributes based on our conceptual framework, we combined two methods: the analysis of written documents describing agroecological farming techniques, and exploratory interviews. The first method gave us access to the knowledge proposed to the farmers (the offer) whereas the second one gave us access to the knowledge used by the farmers (the demand). When compared, they can give agricultural scientists new targets for agronomic knowledge production.

3.1 Using the written documents to build a framework of knowledge attributes

For the analysis of written documents, we included a diversity of types of sources corresponding to what farmers may encounter, namely agricultural press articles and technical information from public extension services. We also reviewed scientific articles related to each technique. These documents were not considered inherently useful for farmers' re-design activity, although they did enable us to access knowledge attributes. We focused on three techniques:

- (i) diversification strategy with the introduction of a leguminous species into the crop sequence;
- (ii) implementation of cover crops with diverse objectives (e.g. recycling of nutritive elements, soil structure conservation, weed regulation); and lastly
- (iii) functional biodiversity conservation through the creation of floral strips in the fields or on their borders.

We assumed that this choice would afford access to a rich variety of knowledge attributes, given that these techniques correspond to the implementation of different agroecological principles:

- (i) the enhancement of genetic diversity within the cultivated crops,
- (ii) the recycling or providing of nutrients and resources, and
- (iii) the management of connectivity in time and space through unharvested plants.

Seventy-eight documents (see Table 6) were analyzed in two steps. The forty-six documents concerning cover crops were first analyzed for a thorough knowledge characterization: each document was analyzed twice, and specific features were recorded in comparison with others, in the four axes of characterization described in the preceding section. This first step enabled us to build a first prototype of a framework.

This prototype was then refined, adapted and confirmed, based on the analysis of the documents concerning the other two techniques: 15 concerning the introduction of a leguminous crop in crop sequences, and 17 concerning the introduction of flower strips. We used inductive reasoning, considering that each document might improve the diversity observed. We then mobilized the resulting framework to analyze the particularities of each type of written resource, in order to identify the knowledge *offer* concerning the studied techniques in particular.

We were also interested in analyzing the dominant associations between attributes of knowledge in the same document. With this aim, we used a hierarchical clustering based on Jaccard distances between attributes, which were calculated over all the documents (R statistical software was used). We completed this analysis with a simple calculation of ratios of co-occurrence between the number

of documents in which two attributes are both either present or absent, and the total number of documents.

Table 6: List of documents analyzed for the building of the framework of knowledge characterization, organized by types of sources and techniques.

DOCUMENTS	techniques concerned			
	cover crop implementation	leguminous crop introduction in sequence	floral strips implementation	
Total number of documents	46	15	17	
Number	20	9	9	
Press articles	Journal titles / dates Cultivar 2008-01, 2011-05 (x3); Persp.Agri. 382 (2011, x2), 389, 390 (x3)(2012); France Agri. 3401 (2011), 3421, 3464 (2012); Réussir GC. 214 (2008), 225 (2009), 235 (x2, 2010); TCS 33 (2005)	Cultivar 2008-(may,oct), 2011-(feb,sep), 2012-may; Persp.Agri. 360 (2009), 368 (2010); TCS 46, 48 (2008)	Cultivar 2008-(apr,nov), 2009-(oct,dec), 2011-may; Persp. Agri. 357,360 (2009), 386 (2012); France Agri. 3378 (2011)	
Type of sources	Number	18	3	4
Technical institutes	Institute / dates ITAB 2012 (x2); Cetiom 2008, Arvalis 2014 (x4); ITB 2010, 2012; CA Bretagne 2009; CA Dordogne 2010, 2011; CA Puy de Dôme 2010; CA Bas Rhin 2012; CA Poitou Charentes 2009, 2010	CA Seine et Marne 2013, CA Manche 2014; ITAB 2014	Civam Champagne Ardenne 2013 (x2); FREDON 2006; ACTA-ITSAP 2010	
Scientific articles	Number	8	3	4
Authors / dates	Snapp et al. 2005, PrieurJustes 2006, Tonitto et al. 2006, Sainju et al. 2006, Justes et al. 2009, Constantin et al. 2010, Chen Weil 2011, Amossé et al. 2013	Kelner et al. 1997; Ominski et al. 1999; Boissinot et al. 2012	Frank 1998; Bianchi et al. 2006; Schmidt-Entling et al. 2009; Bertille 2010	

3.2 Interviews with farmers redesigning their cropping systems: application of the framework of knowledge attributes

We then applied the framework built as a tool for identifying a knowledge *demand* through the analysis of specific cases of re-design activity. This was not directly linked to the written documents' analysis, as we extended the scope of techniques covered. We actually held semi-structured interviews with farmers selected according to their re-design situations: we focused on farms that mainly produced arable crops, either organic or conventional, and which were known to have implemented recent or ongoing technical changes towards a reduction of pesticide use. We selected farmers at roughly different progress levels in their re-design process, based on the most important known technical changes applied.

Farmers were identified by different means: databases from a regional organic association in Ile-de-France, indications from local experts or advisors working with farmers, and lists of members of re-design projects (five farmers had participated in a development project between 2003 and 2012, with a research and development organization in northern France). Thus, the different cases allowed us to explore distinct advancements in a re-design process (changes in preparation, in progress or

more than two years old), and a variety of technical changes (crop diversification, whole crop management program, landscape-related changes), although these were not expected to be completely representative of re-design activity in arable crop production (Table 3). Finally, thirteen interviews were held between 2013 and 2014. Interviews were organized in two main phases: the first was dedicated to obtaining information on the current cropping system and the main changes already made, and on the agronomic and social situation of production; while the second phase focused on one or two specific technical changes identified with the farmer as salient in his management evolution, and sufficiently recent in order to avoid bias linked with historical reconstruction. During this second phase, questions went back and forth between specific action in the context of the technical change, and the informational activity maintained during the same period. This allowed for several loops, from a very technical or procedural aspect of the technique to the reasoning of this action and all the knowledge that could be made explicit, and which contributed in turn to the reasoning.

This analysis rests on a historical reconstruction, by the farmers, of their informational strategies and successive actions related to technical changes, and this reconstruction might entail some lack of precision and completeness. Our methodology was however aimed not at a comprehensive census of attributes, but rather at identifying some particularities in knowledge mobilization and technical change processes. And to limit this problem, we confirmed, as much as possible, the narratives with available written traces (documents cited by farmers, meeting presentations referred to by farmers who participated in development groups).

Tableau 7 : Description of the farms surveyed, the types of technical changes analyzed, and the progress levels in redesign process.

Farmers	Location (district, region)	Type of cropping system		Farm size (UAA, ha)	Type of technical change(s)			Progress levels in redesign process			
		main productions	agricultural model		reduction of tillage (soil management)	localized fertilization	reduction of tillage (soil management)	cover crops	in preparation	in progress (recent first implementation)	confirmed, implemented 2+ years
A1	Eure-et-Loir, Centre	arable crops	organic	153	reduction of tillage (soil management)				X		
A2	Essonne, Ile-de-France	arable crops	organic, minimum tillage	189	localized fertilization						X
A3	Maine-et-Loire, Pays de la Loire	arable crops, flowers seeds	minimum tillage	90	reduction of tillage (soil management)						X
A4	Seine-et-Marne, Ile-de-France	arable crops	organic (50%) and conventional (50%)	200	cover crops		X				
A5	Seine-et-Marne, Ile-de-France	annual crops, laying hens	Organic	28	cover crops (diversification)			X			
A6	Maine-et-Loire, Pays de la Loire	arable crops, vegetable seeds	organic (66%) and conventional (34%)	75	cover crops					X	
A7	Seine-et-Marne, Ile-de-France	arable crops, dairy cattle	organic	170 + 70	leguminous crop (diversification)					X	
A8	Yvelines, Ile-de-France	arable crops	organic	175	dethatcher plough (soil management)					X	
A9	Yvelines, Ile-de-France	arable crops	organic	124	leguminous crop (diversification)						X
A10	Oise, Picardie	arable crops	integrated crop management, no tillage	140	crop introduction (diversification)						X
A11	Aisne, Picardie	arable crops	integrated crop management	?	Integrated Crop Management new weeding tool (hoe and spayer)				X		
					low density sowing						X
					rotary hoe introduction						X
					dethatcher plough (soil management)				X		
A12	Aisne, Picardie	arable crops, laying hens	integrated crop management	125	cover crops						X
					Integrated Crop Management mechanical weeding				X		X
A13	Aisne, Picardie	arable crops	integrated crop management, no tillage	205	non tillage						X
					IPM						X
					dethatcher plough (soil management)				X		
					permanent cover crop					X	

4 RESULTS:

4.1 A framework of knowledge attributes combining the conceptual framework and empirical findings

The first result of this article is the building of a framework of knowledge attributes. This framework uses the four axes described in the conceptual framework (see the first column of Table 8) but was refined and completed based on the written document analysis.

4.1.1 Formatting of knowledge

In this category we distinguished the type of format of the knowledge and the roles these formats play to support the relevance of the knowledge. We distinguished different roles that formats can play (1.1): they explain a causal relation (e.g. comparison of species for N uptake efficacy); they fulfill an observation role by proving the existence of something (e.g. census to enumerate a population); they play an evaluation role by focusing on efficacy (an action producing an expected result or not producing adverse effects); and they have a normative role by estimating an optimum value to reach (e.g. organic matter content in soil). This analysis was consistent with the different modalities proposed in *evidence based* approaches (Laurent et al., 2009). Moreover, as types of formats vary, we chose to distinguish relative quantifications (e.g. “erosion reduced by one third”)(1.2) from absolute, accurate quantifications (1.3) (extreme values, distributions, mean values). Finally, we distinguished two other types of formats: photographs (1.4), and narratives, which can be direct or reported testimonies (1.5).

4.1.2 Temporality and dynamics

To specify the way knowledge concerns temporality, we first tried to see if the knowledge explicitly refers to a dynamic (2.1), whether it is a dynamic of action (e.g. weeds’ germination dynamic under different hoeing frequencies and dates) or a dynamic view of the subject considered (e.g. dynamic of wheat nitrogen uptake according to development stages). We then distinguished the different time scales concerned by the knowledge (i.e. the period of time covered by the manipulated data or information), whether it describes a precise dynamic or not. These scales could strictly fit with that of the subjects concerned (2.2): for instance, knowledge about cover crops may refer only to the period of presence of this cover crop. But the scale considered in the knowledge may also exceed the concerned subject (2.3): e.g., for cover crops again, effects on following crops may for instance be mentioned.

4.1.3 Uncertainties

We recorded different modalities in which uncertainties are made explicit. First, knowledge can concern possible limits of a technique, meaning events or outcomes which may imply that the expected result is not obtained (3.1): e.g. low efficiency of mechanical weeding in case of rainy weather during the days following the farmer’s intervention. Another way of noting uncertainties is to recognize ignorance about an object or a technique (3.2). Knowledge may also specify uncertainties in two different ways: by assessing sensitivity to certain parameters (3.3), e.g. crop

growth dynamic impacted by different sowing depths, or by evaluating probabilities of not obtaining the expected result (typically for yields, percentages of likelihood to have a determined loss in case of a particular technique)(3.4).

4.1.4 Objectives explicitly related to knowledge

We characterized the different objectives' and goals' explicit relation to the knowledge that a farmer or an agronomist claims to have. Objectives can be quantitative (e.g. evaluate the amount of nitrogen that will be supplied by a cover crop to the following crop)(4.1) or logical (e.g. discuss the advantages of a technique, for instance, how to maximize benefits of a cover crop in a rotation)(4.2). Finally, knowledge may aim at redefining the subject it concerns, by mentioning related functions potentially not perceived at first (e.g. floral strips may be associated with biodiversity services, but can also be redefined as a habitat for natural enemies, as a provider of resources for pollinators, as a field margin limiting erosion and various forms of contamination of adjacent rivers, etc).

4.1.5 Elements of agronomic reasoning (explanation)

This may partially be related to the “know-why” form of knowledge. We tried here to ascertain how the knowledge contributes to building a cognitive model for action in a range of situations. Knowledge may focus on functions associated with a practice or an object, and their interactions (5.1) (e.g. for cover crops, producing biomass on the one hand, and keeping a C/N ratio low for rapid mineralization on the other). Knowledge may also concern mechanisms underlying expected functions (5.2), to explain an agronomic logical inference (e.g. alternating spring and winter crops on the same plot limits the development of specialized weed populations), or to explain a result (e.g. germination of some weed seeds is related to soil pH). Certain mechanisms may also relate to general laws (e.g. facilitation and competition in intercropping). Finally, we note that the reasoning that supports knowledge can be based on the comparison of different technical options (such as plant species for a cover crop implementation, for instance) (5.3).

4.1.6 References to agronomic situations

With this category, we looked for the elements that connect the knowledge with an agronomic situation. First, some elements may give information on the broad context of the situation (6.1)(e.g. regulatory context or regional agronomic context). Second, references to the situation may also focus on specific agronomic or climatic factors (6.2) such as soil types, landscape organization, and microclimate descriptions. Third, references may also concern types of agronomic systems (6.3), e.g. organic, non-tillage systems, or integrated pest management. Fourth, we identified historical types of references to situations (6.4), through background description of fields or farms (e.g. previous crops on a plot and types of management) and their evolution from an initial situation for instance. Lastly, we encountered a type of reference to a situation that was based on analogies between problems encountered by farmers and strategies they adopted to deal with them (6.5), e.g. analogy with situations encountered by another farmer because he/she had the same dominant weed to control, in a very similar crop sequence.

Table 8 : Framework of attributes for knowledge characterization. The first column fits with the conceptual framework derived from literature (reminded with roman numbers). The second column reports more specific attributes resulting from empirical materials. The third column gives details or different alternatives encountered, which may help to understand the meanings of each attribute. (Numbers that codify the first and second columns are used in the rest of the article to refer to the framework).

I	1.	formatting of evidence	1	to measure or validate a mechanism, or its effect	1	to explain or measure a mechanism		
			2	relative quantifications, orders of magnitude	2	to obtain, validate or confirm a qualitative result		
			3	accurate, absolute quantification	3	to measure an effect (positive, negative, danger, safety)		
			4	photographs	4	to estimate an optimum value to reach		
			5	narratives	1	estimation (mainly an effect) as a fraction without reference		
II	2.	temporality and dynamic	1	dynamic explicitly addressed	2	imprecise order of magnitude		
			2	time step of the main concerned object	1	extrem values		
			3	larger time scale than concerned object	2	values-distributions		
III	3.	Uncertainties	1	limits of a farming practice	3	precise mean		
			2	ignorance about the technique	1	satisfying situation		
			3	sensibility	2	different possible steps of a situation's evolution		
			4	probabilities of results (losses, failure)	1	reported discourse or personal experience related		
IV	4.	objectives explicitly related to knowledge	1	numeric objective	1	in agroecosystem, independent of farmer's action		
			2	logical objective	2	directly related to possible farmer's actions		
			3	elements to (re)define objects concerned	1	time scale of the object targeted by the action		
	5.	agronomic reasoning	1	interactions between functions, or mechanisms, or variables	1	longer time scale but measures and results stay on object's time step		
			2	mechanisms (ecophysiology, biology, ecology, physics...)	2	time step of a system including object of concerned practice		
			3	comparisons of technical options	1	in case of specific disturbance	1	possible losses
					2	unexpected and irreversible effects	2	probability not to obtain expected result
					3	radical uncertainty, 'don't know what we don't know'	1	value to reach; quantify a flow, an effect
			6.	reference to agronomic situations	1	Local agronomic context	1	interest of a practice, conditions for obtaining it / opening
	2	specific/limitant characteristics of the situation			2	deepening, refinement		
	3	type of system and interactions with existing practices			3	not directly related to crop production		
	4	historical and initial situation			1	interactions between functions (of a technic or object)	1	definitions, different approaches of same objects,
2					functions and sub-functions are prioritized	1	interactions with other compartments than the targeted one	
5	homology/analogy of problems and ways to solve them	1			to explain an agronomic logic	2	without reference to a specific goal	
		2			law (numeric or not) describing a mechanism	3	on logical and cost criteria, without agronomic results	
		3			to explain a result	4	other practice with the same objective (or function)	
7.	Monitoring and assesment of actions	1			operating method, decision rule for implementation of action	1	in accordance with a goal	
		2			indicators to confirm that action performed is the expected one	2	without reference to a specific goal	
		3	indicators for adjustment/monitoring of the action	3	on logical and cost criteria, without agronomic results			
		4	indicators to evaluate the effects of a specific action	4	other practice with the same objective (or function)			

4.1.7 *Monitoring and assessment of actions*

Finally, we characterized knowledge according to the way it explicitly mentions on-field farming actions, that is, some very practical aspects of implementation of a practice. This can correspond to operating methods and decision rules for implementation of a technical change (7.1), for instance a complete crop management plan with quantified recommendations or the constitution of a species mixture and determination of sowing rates. It may also correspond to indicators confirming that the action performed is the expected one (7.2), such as the typical state of a field after application of a tool, or indicators for monitoring the action (7.3), for example benchmarks in field states for decisions on nitrogen fertilization, or indicators for evaluating the impact (targeted or not) of an action (7.4), which may include, for instance, measurements of environmental indicators.

4.2 Analysis of written documents on three techniques, using the knowledge framework

4.2.1 *Quantitative analysis: which knowledge attributes are found in the different types of source concerning the three techniques?*

In all three techniques (columns “ALL” in Tableau 9), the different sources displayed wide diversity in their knowledge attributes: no attribute was identified in a fraction greater than 0.90 in press articles and technical institutes’ documents (mentioned as “PRESS” and “TI” respectively in the following text), and only a few were identified in a fraction above 0.50 (3 in PRESS and 4 for TI). This diversity was slightly lower in scientific articles (mentioned as “SCI” hereafter): 4 attributes in fractions above 0.90, only 2 in all articles (1.1 and 1.3), and 2 in none of them (photographs as a formatting of knowledge and indicators for the monitoring of action).

Although such diversity was observed in each type of source, we identified a set of attributes that were mainly shared or were rare in the three types of written documents. The corresponding fractions were either greater than 0.40 or smaller than 0.25. The shared attributes were: quantified formatting of evidence to measure or validate a mechanism (1.1), accurate and absolute quantifications (1.3), longer time scales than the one of the main object concerned in a document (2.3), logical objectives (4.2), descriptions of mechanisms (5.2), comparison between techniques (5.3), local agronomic context (6.1), descriptions of types of systems and interactions with existing practices, as references to the situation (6.3), and operating methods or decision rules (7.1). The rare attributes were: photographic types of evidence (1.4), descriptions of uncertainties in terms of ignorance (3.2) or variability of the probable results or losses (3.4), indicators to confirm that the performed action was the expected one (7.2), and indicators to evaluate the effects of actions (7.4)(concerning the rare attributes).

Furthermore, we identified specific attributes whose fractions largely differed according to the type of source. Descriptions of dynamics (2.1), numerical objectives (4.1), and factors of sensitivity (3.3) were mostly found in SCI (fractions equal to 0.73, 0.53 and 0.60, respectively), and to a far lesser extent in PRESS (fractions equal to 0.24, 0.05 and 0.21, respectively) or in TI (fractions equal to

Tableau 9 Proportions of attributes identified in documents by type of source, for each technique: the figure corresponds to the fraction between the number of documents in which the attribute was found and the number of documents in the category. Columns titled "ALL" correspond to all the documents read for the three techniques studied from a same type of source (in bold: fractions above 0.40 for all types of source; in italics: fractions under 0.25 for all types of source). The first two columns correspond to the class number of the framework (Table 1). To simplify notations, PRESS corresponds to articles from the agricultural press, TI to documents from technical institutes, and SCI to scientific articles or papers.

framework categories	PRESS				TI				SCI			
	leg. PROP/9	cov. crop. PROP/20	flor. strips. PROP/9	ALL PROP/38	leg. PROP/3	cov. crop. PROP/18	flor. strips. PROP/4	ALL PROP/25	leg. PROP/3	cov. crop. PROP/8	flor. strips. PROP/4	ALL PROP/15
1.	1	0,89	0,25	0,44	0,45	0,67	0,39	0,75	0,48	1,00	1,00	1,00
	2	0,33	0,15	0,22	0,21	0,00	0,17	0,00	0,12	0,13	0,50	0,40
	3	0,78	0,25	0,56	0,45	0,33	0,33	1,00	0,44	1,00	1,00	1,00
	4	0,33	0,10	0,00	0,13	0,33	0,11	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00
	5	0,67	0,30	0,22	0,37	0,33	0,00	0,25	0,08	0,13	0,00	0,07
2.	1	0,33	0,10	0,44	0,24	0,33	0,11	0,75	0,24	0,88	0,50	0,73
	2	0,11	0,20	0,67	0,29	0,00	0,39	0,75	0,40	0,00	0,75	0,27
	3	0,67	0,40	0,22	0,42	0,33	0,61	0,00	0,48	1,00	0,00	0,67
3.	1	0,56	0,40	0,22	0,39	0,67	0,50	0,25	0,48	0,50	0,25	0,40
	2	0,00	0,10	0,00	0,05	0,33	0,00	0,00	0,04	0,38	0,00	0,27
	3	0,22	0,15	0,33	0,21	1,00	0,22	0,25	0,32	0,50	0,75	0,60
	4	0,22	0,05	0,00	0,08	0,33	0,00	0,00	0,04	0,00	0,50	0,13
4.	1	0,22	0,00	0,00	0,05	0,00	0,06	0,00	0,04	0,75	0,25	0,53
	2	0,67	0,55	0,89	0,66	0,67	0,78	1,00	0,80	0,88	0,75	0,87
	3	0,22	0,30	0,78	0,39	0,33	0,22	0,50	0,28	0,38	0,75	0,47
5.	1	0,56	0,20	0,00	0,24	0,00	0,22	0,50	0,24	0,50	0,25	0,33
	2	0,44	0,50	0,67	0,53	0,33	0,39	0,50	0,40	1,00	1,00	0,93
	3	0,56	0,50	0,22	0,45	1,00	0,61	0,75	0,68	0,75	0,50	0,67
6.	1	0,89	0,65	0,44	0,66	0,67	0,39	0,75	0,48	0,88	1,00	0,93
	2	0,44	0,40	0,22	0,37	0,33	0,33	0,75	0,40	0,75	0,75	0,73
	3	0,67	0,45	0,22	0,45	1,00	0,50	0,25	0,52	0,75	0,00	0,47
	4	0,33	0,30	0,11	0,26	0,67	0,11	0,50	0,24	0,88	0,50	0,67
	5	0,56	0,35	0,22	0,37	0,33	0,06	0,25	0,12	0,13	0,75	0,33
7.	1	0,44	0,35	0,56	0,42	0,67	0,72	0,75	0,72	0,38	0,50	0,40
	2	0,00	0,05	0,11	0,05	0,00	0,00	0,25	0,04	0,13	0,25	0,13
	3	0,33	0,40	0,00	0,29	0,33	0,39	0,50	0,40	0,00	0,00	0,00
	4	0,11	0,15	0,11	0,13	0,00	0,17	0,00	0,12	0,13	0,00	0,20

Colour scale : 0,00 0,20 0,40 0,60 0,80 1,00

0.24, 0.04 and 0.32, respectively). By contrast, indicators for monitoring the action (7.3) were identified in average fractions in PRESS and TI (0.29 and 0.40, respectively), but never in SCI.

To sum up, these observations highlight the most common pattern of attributes and enable us to identify the rare attributes in the *offer* of knowledge on these techniques. Differences are found mainly in the formatting of evidence, agronomic reasoning and in the ways in which agronomic situations are referred to.

4.2.2 Linkage analysis: are there attributes of knowledge that occur mostly together and that define knowledge profiles?

Although we distinguished specific and individual attributes, they cannot be considered independently from one another. Our analysis therefore also concerned the possible associations between them in the same written resource, and whether these associations differed between types of sources. We thus calculated the ratios between the number of documents – in all three techniques analyzed – in which the two attributes were both either present or absent, and the total number of documents.

Some knowledge attributes mostly appeared together in the documents. Considering association ratios above 0.75, we identified the main linkages between attributes and related them to the types of sources (Figure 1). We observed that photographs (1.4) and narratives (1.5) were often linked, mostly in PRESS. Numerical objectives (4.1) were mostly associated with specifications of uncertainties in the form of ignorance (3.2), and relative quantifications (1.2) were frequently associated with indicators for the effect of action (7.4). These four attributes were mostly found in small proportions in all types of sources, and in slightly larger proportions in SCI. The same observation was made for the time step of the main object concerned (2.2), probabilities of losses (3.4), and indicators that confirm that action performed is as expected (7.2)(see Figure 2). Other high association ratios were found between photographs (1.4), and operating methods or decision rules (7.1) as well as indicators for monitoring the action (7.3), which in this case were found in higher proportions in PRESS and TI than in SCI. Lastly, narratives (1.5) were often associated with references to agronomic situations in terms of analogies with encountered problems (6.5), in higher proportions in PRESS. It is worth noting that all these attributes were among the ones with the lowest occurrence in the different types of documents. By contrast, different time scales (2.2 and 2.3) were the two attributes with the lowest linkage ratio (0.19), indicating that documents address either the short term or the long term, but rarely both together.

To sum up, these common associations of attributes underline particularities of resources that concern rare attributes, and shared incompatibilities of attributes in the same document (e.g. the different time scales, whereas one could assume that farmers need knowledge on short and long time scales). In this section we have identified patterns of attributes which were either general or related to a specific source of knowledge. The classical distinction between ‘bodies of knowledge’ (e.g. Briggs, 2005; Eshuis & Stuiver, 2005), mainly referring to the sources, is thus refined according to specific attributes. These observations will now be compared with the attributes that farmers

mobilize, along with the technical changes involving the techniques studied, as well as others, to identify any mismatches and explain the saliency of diverse sources.

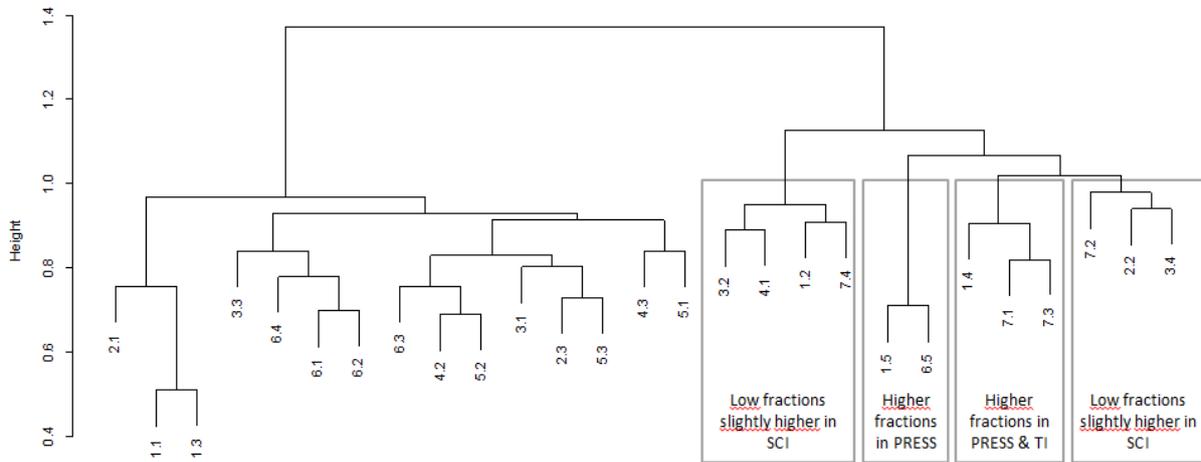


Figure 2 : Hierarchic clustering of attributes (built with Jaccard distances). The numbers refer to each attribute, according to the framework built in Table 4. The four boxes identify, for attributes with an association ratio higher than 0.70, the correspondences with the fractions presented in Table 5, in order to specify in which sources they appear the most.

4.3 Identification of specific dynamics in knowledge mobilization by farmers in re-design activity

In this section we analyse farmers' *demand* as it appears in specific knowledge attributes all along the change pathways. We first consider an example to illustrate how knowledge is mobilized by farmers through technical change. Then we discuss how knowledge differs, depending on the steps the farmer is at in the technical change process. By identifying the knowledge attributes mobilized in each of them, we are able to refine their definition.

4.3.1 Application of the framework of attributes to build profiles of knowledge mobilized by a farmer over the course of technical change

To illustrate how knowledge is mobilized by farmers through technical change, we present an example: the change of fertilization technique by farmer A2 (adoption of localized nitrogen fertilization on all crops), initiated more than 2 years earlier and showing an evolution in knowledge mobilization.

First, we recorded all the elements of knowledge cited by the farmer when he explained how he decided to implement specific technical change. He insisted on the fact that the crop would grow more quickly than targeted weeds at first (2.1), which meant this technique was able to create a differential in the potential growth of each species that would in turn influence the growth dynamic. He considered the limits of fertilizing the entire surface area of the field as an unintended effect that favored weed growth (3.1). Interactions between functions of fertilization were deduced from experience on other crops (5.1) and from analogies with the reasoning applied to them (6.5). The farmer referred to a mechanism of competition for nitrogen resources between crops and weeds (5.2), which was formalized, although not supported by quantitative data. The objective associated with localization, and mentioned by the farmer, was to ensure a yield potential of the cash crop without favoring weeds, which was a logical objective (4.2). He mentioned no specific indicators or operational decision rules as being decisive for decisions to apply localized fertilization on cereals.

He then referred to the beginning of his own experience, for which he mobilized additional informational resources. He took pictures at different times to confirm the dynamic of crop and weed growth during the first time he applied localized fertilization (1.4 and 2.1). These pictures from his own field were compared to others found in press articles. He mentioned an effect on the time scale of the crop period (2.2), but also insisted on the need to have further knowledge about consequences over longer periods, namely on subsequent crops (2.3). From the objective of maintaining a yield potential, he then moved toward an objective of autonomy for nitrogen inputs, which was associated with such techniques in press articles (4.2). He also concluded about interactions with compartments other than the targeted ones (5.1), namely a repulsive effect of this type of fertilization on slugs (which he supposed related to concentration of the product). He also mentioned that he associated this practice with the use of leguminous crops or cover crops to diversify nitrogen inputs (5.3), the reduction of hoeing, and the adaptation of localized fertilization to the preceding leguminous crops (6.3). Indicators for monitoring the action were developed during this step: he related the irregularity of nitrogen nutrition to observed states of crop stands (7.3), and used the development of weeds as an indicator of the effect of action (7.4). Additionally, several needs were stated, namely quantifications: required rate of nitrogen fertilization (4.1, 1.3, 7.1), which was related to the mechanisms of nitrogen requirements and crop N uptake (5.2), and the sensitivity of the result of the technique to the soil N availability (3.3). He therefore organized more specific tests, comparing various rates of nitrogen fertilization, and started looking for specific information on the nitrogen requirements of the concerned crop with the types of nitrogen inputs used. Finally, he mentioned knowledge concerning the different adaptations and variations possible in order to maintain the localized fertilization in his cropping system, namely the possible use of legumes to provide nitrogen (4.2, 5.3). He then mobilized physiological knowledge about different legume varieties (5.2), and mentioned specific characteristics of the local climate, namely the main frost periods (6.2), to adapt his choice.

We thus determined successive profiles of knowledge attributes (Figure 3) for this particular technical change implemented by farmer A2. It revealed a dynamic of knowledge attributes

mobilized throughout this process. Among all the farmers interviewed, and although the technical changes we analyzed were widely diverse (e.g. introduction of a new crop, modification of use of cover crops, non-ploughing, localization of fertilization), we noticed similar profiles of attributes of the knowledge used at the different steps of the technical changes (Figure 4b). In the following section we propose a grouped analysis of the main profiles for each step (see also Table 10) and analyze their significance in the technical change process.

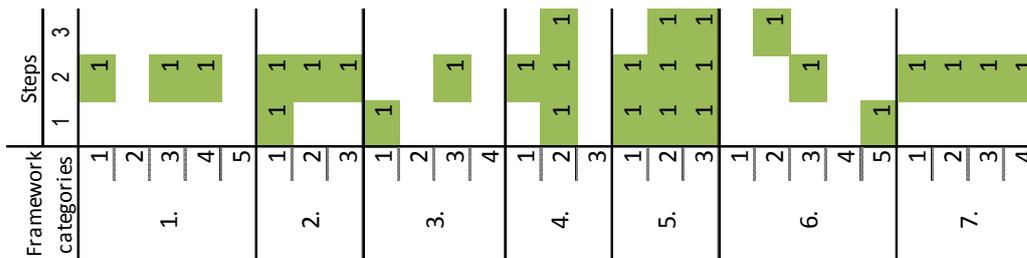


Figure 3: Evolution of knowledge attributes mobilized along the different steps of the technical change of localized fertilization implementation for farmer A2.

4.3.2 Roles of knowledge profiles in step 1: Choice of a technique, decision to apply it and preparation for the implementation

In the first step, narratives (1.5), logical objectives (4.2), all attributes of agronomic reasoning (5), reference to the agronomic situation (6), and historical background (6.4), were mobilized in fractions greater than 0.50 of all cases (Figure 4b). It appeared from the interviews that, during this step, the process that allows a farmer to take the decision to change and to build an understanding of the new technique to apply depends on an understanding of an agronomic principle. It is not merely a commitment to a specific type of system, but stems instead from an agronomic logic built on new knowledge. Farmer A1, for instance, explained his choice to implement permanent alfalfa cover: "He keeps a maximum of alfalfa in place and sows crops in the alfalfa, that stays alive, and the aim is to keep it alive for as long as possible. So I find the concept really interesting, that's why I decided to try it". This agronomic reasoning corresponds to a place (6.2) and a logical objective (4.2), and is based on an analogy between problems encountered by another farmer and his own situation (6.5) (Table 10). The coherence with an agronomic principle also required an understanding of the mechanisms (e.g. competition for nitrogen resources, see Section 4.3.1), and a redefinition of the functions of an object in the cropping system (4.3). For instance, farmer A3 redefined his understanding of the soil's role: "[the other farmers] feed the plant, and consider the soil just as a support, whereas I see the soil as feeding the plant. For me that's a big difference". By contrast, quantifications (1.1, 1.2, 1.3, with fractions under 0.11), time scales reduced to one of the main objects of the technique (2.2, fraction equal to 0.07), specific information on uncertainties (fractions under 0.26), and numerical objectives (4.1)(0.04) were infrequent. In fact, several farmers granted more importance, in this step, to a global

consistency of techniques in a cropping system than to a precise quantification of the processes: "I've never really tried to calculate how much three years of alfalfa could produce for the wheat on my land. [...] it's more a question of principle and overall rotation, so that there's coherence in my way of working" (farmer A6). Moreover, all farmers mentioned the importance of discussions with other farmers and visits to their farms: "It's known that farmers are really visual, Saint Thomas and visual. They believe only what they see" (farmer A10). What do they need to see to be convinced? Not only yield results, but also consistency in techniques, intermediate states of the crops, and overall farm management (6.3, 2.3). The integration of a technique in a larger system of practices was therefore stated as a necessary approach: "Well, it's true that with the people we went to see their green fertilizer, they're also changing in that direction but they're also changing the way they work the land. It all goes together. [...] It's true that it's a whole approach, it's green fertilizer but there's all the work afterwards too. It's a whole way of working that's different." (farmer A6). An acknowledgement of the long-term process (2.3, 6.4) was also required: "[Chambers of Agriculture] do trials with fungicide weed-killers and all that, but they change fields. But in practice if we get the rotation wrong, we'll know it", explained farmer A3, underlining the fact that continuity and consequences of actions on the same plot should be addressed. Farmer A13 summed up the value of testimonies and visits to other farms, also mentioning references to the situations in specific features: "you have to see the coherence of a system. And then afterwards it's also by being there that you see the type of soil (6.2), the type of rotation (6.3), that you see the type of climate (6.2). A bit like the organization of fields in a region (6.2). All this information is important. And also what was important, was to see how the farmer got to this approach (6.4)".

Table 10 : Three steps identified in technical changes and corresponding main attributes of knowledge most mobilized.

Steps in the technical change			
1			
2			
3			
Amplification			
	Choice of the technique Decision to apply it Preparation for implementation	One or several tests, Adaptation of specific monitoring of action Stabilization of operational method	Evaluation of consequences on the system Other related and/or necessary changes
Attributes of knowledge mobilized	Agronomic reasoning (5.1, 5.2)	Quantification (1.1, 1.3)	Interactions with other compartments (5.1)
	Reference to the situation (6.2, 6.4, 6.5)	(Numerical objectives (4.1)) Uncertainties (3.3)	Interactions with other practices on farm (6.3)
	Narratives (testimonies) Farmer's personal experience (1.4)	Temporalities and dynamics (2.1, 2.3)	Other practices with same function (5.3)
	Logical objectives (4.2) and redefining (4.3)	Indicators for monitoring and assessment of action (7.2, 7.3, 7.4)	Temporalities: long term (2.3)
	Indicators of effects of action (7.4)	Reference to situations: Interaction with other practices (6.3)	

4.3.3 Step 2: Several tests and errors, adaptation of specific monitoring and operational methods, amplification

In a second step, the technique whose the principle had been validated was implemented in farmers' own fields, on different crops or sites (Table 10). The corresponding knowledge profiles differed from the previous step with regard to several attributes (Figure 4b). As the farmers knew they could not be fully aware of possible effects on the whole cropping system, they sometimes mobilized knowledge on uncertainties, mainly factors of variation in the effects of specific actions (3.3)(fraction equal to 0.62 against 0.19 in the first step). When only a few aspects of the mechanisms could be interpreted (due to missing elements of fundamental knowledge, for instance, or missing indicators for interpreting occurring dynamics), some farmers reduced their uncertainties by setting intermediate objectives (4.2, 7.2). For instance, farmer A3, who was implementing no tillage practices, focused on having a satisfactory sowing bed because he was unable to anticipate the system's evolution, due to the depth of the change. The adaptation of a practice identified elsewhere as useful, with a precise targeted effect and an emphasis on interactions with other practices in the system (6.3), was recognized as necessary because of this limited anticipation. Therefore, unsatisfactory yields at the beginning of the change did not prevent these farmers from continuing further with the technique. We interpreted this as evidence for different types of evaluation. Whereas in the first step the evaluation seemed to focus on the principle of the technique and its consistency with a long-term objective, in this second step it focused on the possible monitoring and adaptation of the practice: *"I think that next year I'll give it a try, I'll have small fields, triangular fields, that's a clay-like gravel, where late ploughing is often complicated. To be able to sow without ploughing this type of land is a technique I'm interested in"* (farmer A1). Hence, evaluation was based on intermediate state dynamics (for instance the vigor of the crop) rather than on final yield. More indicators (7.2, 7.3, 7.4) were mobilized than in other steps (ratios equal to 0.57, 0.48, 0.71 respectively, against 0.22, 0.33, 0.22 in the first step). This step also included refinement of practices that may require quantified knowledge (1.2 and 1.3 in fractions equal to 0.29 and 0.33 respectively). Farmer A2, for instance, needed quantification of plant nitrogen needs (1.1, 1.3) and for specifying nitrogen fertilization modalities (7.1). In various cases there was still a need to acquire knowledge about fundamental mechanisms (5.2) in order to adapt observation methods and operational and decision rules (7.1, 7.3).

4.3.4 Step 3: Evaluation of consequences of new practices on the cropping system

In a last step, farmers considered the links between, on the one hand the new technique, when applied in conditions based on experience in previous steps, and on the other the whole cropping system. The stabilization and spread of the practice within the cropping system was questioned (Table 10). A lower number of technical changes provided data with this aim (7 compared to 27 and 21 for the 1st and 2nd steps respectively), corresponding to the several interviewed farmers who had already implemented technical changes for several years. This step included the identification of the interactions with other compartments (5.1) and other practices in the cropping system (6.3) (fractions equal to 0.43). For instance, farmer A11 enlarged the use of stubble plough on other crops after a first try on winter cereals: *"I did it on the autumn crops and afterwards I wondered if I should do it on*

the spring crop especially beet, which has a tap root and where, in general for beet (ploughing), you need deep ploughing so that it takes root well. So I used it on beet as well but first I cracked the ground so that the beet, even if it's at 10cm, the ground is cracked, so that it can take root. And the result was satisfactory. So that was also a significant change but in ploughing". Another evaluation concerned other techniques that farmers could change after having implemented the first one, in order to maximize its benefits. Even if the first practice was mastered, there could be uncertainty about how to continue. Dynamics (2.1)(fraction equal to 0.57) and time scales longer than that of the main object concerned (2.3)(fraction equal to 0.43) were thus often mobilized during this step. If other techniques that needed to be implemented were compromised in their situation, they could revert to their former practice ("*Well, it's true that now I still plough a bit, I do occasional agronomic ploughing. It's not especially what I like to do, if I could work a bit differently and with softer soil. But it'll happen from one year to the next, it's a long-term thing*", farmer A6).

4.3.5 Distinction between technical changes according to the knowledge attributes mobilized

During farmers' interviews we distinguished between the technical changes that were associated with a re-design process and those that were not. The former were mentioned in interaction with several other techniques, either already implemented or not, and according to a larger objective associated with the global cropping system. On the other hand, technical changes analyzed as isolated and not related to the re-design process were mentioned without any connection to other techniques used and with no explicit consistency with objectives assigned to the cropping system. The technical changes concerned were the implementation of non-tillage soil management by farmer A3, the introduction of beans by farmer A5, the introduction of lentils by farmer A8, and the use of stubble plough by farmer A13 (see Figure 4a). Crops were introduced on the recommendation of cooperatives and according to market opportunities (introduction of lentils or beans). In these cases, farmers relied mainly on general technical recommendations for crop management, and required information about expected yields and possible losses. They neither related the new crop to existing practices on the farm, nor mentioned possible effects on their cropping systems.

The analysis of knowledge mobilized for these isolated technical changes showed particularities. The profiles for the first step of the process differed according to several attributes: accurate quantifications (1.3) were mobilized (three out of four cases), mainly precision of specific modalities of action; knowledge about uncertainties was also stated more often, particularly factors of variation (3.3) and possible losses (3.4); in one case, a numerical objective was mentioned at the start, which was never the case for the other type of change; mechanisms (5.2) were mobilized in only two cases, and no reference to historical background of fields was made (6.4). On the contrary, more operational methods (7.1) and indicators (7.3 and 7.4) were mobilized even before the first implementation. We could describe a second step for two cases out of four, based on distinctions between before and after a first test, in which yield was the main indicator mentioned for effect of action (7.4). However, no clear evolution of the knowledge mobilized could be found, and the adaptation of the technique to local conditions was never addressed. In such cases, a farmer recognized that if the results of a test on a new crop was poor (yield) in the first year, they would be

much more reluctant to investigate further the best adaptation of the technique in their situation (*"Yeah so the test, fortunately and unfortunately, in any case the first year it worked quite well but it's true that if we'd had a disastrous first year, I don't know if we would have carried on"*, farmer A8).

This analysis highlights the fact that the same individual technique can be associated with a re-design process or not. All techniques identified in these four cases also corresponded to technical changes that were part of other farmers' redesign process.

Furthermore, we found that the same farmer could implement both types of technical changes. Farmer A3, for instance, implemented the same technique twice (non-tillage soil management) with a 10-year interval, first without managing interactions with other techniques (herbicides treatments, sowing), and second, after restarting from his initial cropping system, with consideration of larger interactions with the whole cropping system. Knowledge mobilized in both cases differed considerably (see Figure 4a): he mobilized far more agronomic reasoning, especially mechanisms (5.2), and knowledge concerning soil composition and its function (4.3) and possible visual intermediary states (1.4), in the second attempt than in the first.

5 DISCUSSION

5.1 The proposed framework specified mismatches between 'supplied' and 'required' knowledge.

The findings show that the value of our characterization framework lies not in identifying the best attributes that will efficiently promote technical change, but rather in describing the necessary combinations, and their evolution, of different attributes of knowledge which are mobilized along re-design processes.

This raises the question of the matching between a knowledge offer and a specific demand related to the farmers' progressive technical changes. The framework of knowledge attributes that we proposed and the results of its application make it possible to assess such matching. Here, from the comparison of documents that can be considered as "supply" (Tableau 9), with the farmers' "demand" as expressed in the interviews (Figure 4b), we conclude that for each step of technical changes some matches and mismatches appear. In the first step the interactions between functions of a technique (5.1) were mobilized, whereas overall they were lacking in the offer. Explanation of mechanisms (5.2) and reference to specific limiting features of the situations (6.2) were found mostly in scientific articles and were rare in other sources that were consulted more by farmers. By contrast, references to the situation in terms of historical background (6.4) or analogies between problems (6.5), as well as narratives (1.4) and redefinitions of objects (4.3) were found more in PRESS and TI than in SCI. In the second step the main mismatch concerned indicators (7.2, 7.3, and 7.4). This suggests that a development of such indicators would be necessary to support technical changes efficiently. Finally, in the third step the needs matched possible offers except for the explanation of interactions between functions (5.1).

In addition, Table 10 shows that combinations of several attributes were necessary to support action in each step of the technical changes. These did not merely correspond to the combinations observed in the different types of source, commented on in section 4.2.2. Further comparisons based on such knowledge characterization should help in proposing solutions for intermediary actors and scientists who wish to equip farmers for cropping system redesign. The proposed framework proved to be useful for this purpose.

5.2 What added value for studies on knowledge for re-design processes?

Our findings support the prevalent idea that a diversity of resources are required to support learning during re-design processes in a sustainable approach (e.g. Chantre & Cardona, 2014; Eshuis & Stuiver, 2005; Kilelu et al., 2014), and therefore that scientific as well as other sources of knowledge should be embedded (Kloppenburger, 1991). Although it is generally recognized that farmers mobilize knowledge from diverse sources to support and confirm new concepts, the refinement of attributes of these different bodies of knowledge suggests that it may also correspond to a need to complete the required combination of attributes for their action. For instance, a new technique could be proposed with explicit knowledge about the underlying mechanisms and decision rules, but with a lack of specifications about the necessary reference to agronomic situations, that another resource may fulfill. Furthermore, we have identified the fact that references to the situation with historical background (6.4) and with analogies between problems and strategies to solve them (6.5), indicators for the effect of action (7.4), and photographs (1.4) or narratives (1.5), are attributes which might lead to the decision to apply a technical change and its preparation. These attributes of knowledge were unequally identified in the different types of source, but were often part of testimonies that farmers reported from their own experience. This is in line with the argument of necessary shared experiences (Morgan & Murdoch, 2000; Röling & Jiggins, 1994), and underscores the relevance of narratives, acknowledged by several authors (Eshuis & Stuiver, 2005; McCown et al., 2012).

In addition, the combinations of attributes shown in Table 6 correspond to an interplay of know-what, know-why, and know-how. The necessary combination of these types of knowledge has been demonstrated by Ingram and Morris (2007). Components of the agronomic reasoning and objectives are related to know-why, and references to the situation to know-what, but indicators and testimonies relate to the experiences in which know-how is embedded. The same complementarity occurred for the three steps described. To deepen this analysis, it would be of great interest to explore further how different attributes of knowledge are shared among farmers and agronomists, including accounts of personal experiences, and how they can lead towards the situated building of know-how (Palshaugen, 2009).

Furthermore, we did find some similarities with various studies in the agronomic field, notably on decision tools. For instance, the analysis of the “Valeur pastorale” tool (Gross et al., 2011) distinguishes: “measurement and calculation procedures; management objectives and target; conceptual basis and management object; interpretation rules, postulates, and efficiency criteria;

ideal use situations”, which could correspond respectively to categories 1, 4, 5, 7 and 6 of our framework.

5.3 Implications for the support of cropping system re-design processes: a need for a dynamic approach

The dynamic that we revealed in knowledge mobilization by farmers during technical changes calls for a continuous monitoring and adjustment of resources that are shared among stakeholders. This has been argued by several other authors (e.g. Kilelu et al., 2014). At the scale of the technical change, the dynamic that we analyzed was partly consistent with the one proposed by Chantre and Cardona (2014), although we suggest that the evaluation is probably more diffuse throughout the process of change. Farmers combine: firstly, knowledge about the logical agronomic principles of a technique and its own consistency as much as its possible fit with their agronomic situation; secondly, indicators to monitor the action and the situation’s evolution, and to assess interactions with other practices; and thirdly, indicators to assess the consequences of the action, interactions with other practices in the cropping systems, and knowledge about new techniques that would enhance the benefits acquired. Interestingly, we can find similar conclusions outside the field of agriculture. Vicenti (1993) described design dynamics in the aviation engineering field and shared for instance our result that quantitative information is mostly needed in a second step: *“Once the operational principle (the essential fundamental concept) of a new technology has been invented, the engineering community goes about establishing the necessary ‘technological base’, that is, the body of knowledge needed for design application. This is usually considered to comprise the theoretical analytical tools and quantitative data.”* We furthermore identified in Section 3.3 that the dynamics of knowledge mobilization differed, depending on whether the technical change was part of a redesign process or not, even if the technique itself was the same (e.g. introduction of a leguminous species into a crop sequence). We found that the redesign nature of a technical change on a farm was related less to the technique than to the extent to which the technical change was chosen and prepared in interaction with the existing cropping system. This would suggest that it is impossible to classify *a priori* a specific technique in a redesign category, for instance in the Efficiency-Substitution-Redesign framework (Hill & MacRae, 1995).

Such a dynamic of knowledge mobilization also emphasizes the need for the agronomist and the farmer to arrange a diversity of knowledge exchange encounters, as described by Ingram (2008a), and particularly ‘facilitative’ ones in which farmers and agronomists combine their knowledge to arrive at a joint understanding of objectives and decisions. For advisors, for instance, Klerkx and Proctor (2013) argued that it might require becoming involved in centralized, distributed and decentralized networks in order to acquire the appropriate diversity of knowledge (know-what, know-why, as well as know-how).

6 CONCLUSION

In this paper we have developed a specific characterization of agronomic knowledge in order to guide agronomists in the building, exploration, and mobilization of appropriate knowledge for supporting action in re-design processes. The framework we propose makes it possible to describe both expert and scientific knowledge in their 'content'. It describes necessary combinations of knowledge attributes to support farmers' action through a continuous change, and demonstrates the need for a dynamic adjustment of knowledge mobilization to the re-design progress. Our findings confirm the need for a combination of diverse sources of knowledge, and for agronomists to identify and complete the knowledge that farmers mobilize at different phases of technical change. The framework we propose might be a tool that offers possibilities for knowledge identification, as well as guidance for interaction between farmers and agronomists.

The dynamic complementarity of different types of knowledge implies that agronomic research aimed at offering support to re-design processes should be adaptive and flexible, in order to allow the exploration of new knowledge throughout the re-design process. Our results also suggest that farmer-advisor interaction requires a dynamic adjustment, which is possible in a dialogical process that allows for a joint understanding of the objectives, the technical changes at stake, and the progress level. The framework that we propose may support that process.

To pursue such an approach to agronomic knowledge, the framework could be refined in order to explore in further detail some individual learning processes that an advisor could foster. In this work we have mainly examined the common patterns of knowledge mobilization shared by different farmers. For research purposes, the framework could be developed as a basis for exploration of more specific attributes of knowledge which may also relate to actionability.

7 ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank all the farmers for their time and for having agreed to the reflexivity that was asked of them. This work was supported by the Région Ile-de-France under Grant from DIM Astréa; and INRA under Grant from the meta-program SMaCH. We thank Liz Libbrecht for language editing the English version of this paper, and are deeply grateful to the editor and the two anonymous reviewers for their detailed comments that were of enormous help for improving this article.

Chapitre II - Indicators used by farmers to design agricultural systems : a survey

Ce chapitre correspond à un article publié dans la revue Agronomy for Sustainable Development (Accepté le 16 septembre 2015).

Toffolini Q., Jeuffroy M.-H., Prost L. (2016 ?) *Indicators used by farmers to design agricultural systems : a survey.*

DOI: 10.1007/s13593-015-0340-z

Dans le chapitre précédent, j'ai proposé un outil de caractérisation des connaissances qui visait à comprendre comment les connaissances s'articulent dans un processus dynamique au cours de l'action pour le changement technique. Conçu comme un outil conceptuel heuristique qui peut guider l'identification de ces dynamiques, il n'est bien sûr pas à considérer comme un modèle figé d'une dynamique de mobilisation. Il ne prétend pas non plus décrire l'exhaustivité des connaissances qui pourraient être mobilisées dans l'action. Toutefois, l'approche très large des contenus de connaissances qu'il propose m'a permis de mettre en évidence une évolution de ces contenus qui m'a amené à reconstruire trois étapes du changement technique. Les connaissances mobilisées dans chaque étape me permettent d'identifier des catégories d'attributs des connaissances sur lesquelles des approfondissements sont nécessaires. En particulier, il a été montré que les précisions et quantifications des incertitudes sur les effets de l'action étaient finalement peu déterminantes dans la continuation du changement, au profit des indicateurs pour le suivi de l'action. Je propose donc d'analyser plus en détail cette catégorie des indicateurs pour le suivi de l'action.

De fait, on observe une constante activité d'évaluation au cours des étapes du changement, dont on peut penser qu'elle vise à prendre en compte les incertitudes ou à continuer l'action dans l'incertitude. Cette évaluation porte à la fois sur les principes agronomiques mobilisés, les modes opératoires d'application des techniques, leurs effets directs et leurs conséquences éventuellement inattendues. Finalement, on peut sans doute mieux caractériser cela en parlant de *monitoring*, au sens de suivi du changement. Il me semble donc nécessaire de mieux explorer ce en quoi la situation et son évolution contribuent à la dynamique de connaissances, soit en amenant l'agriculteur à pouvoir mobiliser de nouvelles connaissances, soit par la validation, précision, complémentation des connaissances acquises par ailleurs. Alors qu'il était parfois difficile dans les résultats du chapitre précédent de faire la différence entre les sources d'information exogènes et endogènes à l'exploitation, il apparaît nécessaire d'analyser comment la situation participe à l'articulation des connaissances, à leur mobilisation. En quoi joue-t-elle un rôle, dans son vécu et les informations qu'elle apporte, pour la construction de connaissances dans et pour l'action ?

Quels sont alors les liens possibles entre les indicateurs, la situation, et la perception que l'agriculteur en a dans une optique opérationnelle, et au cours de l'action ? Dans la théorie des structures conceptuelles de la situation de Pastré (2006), le concept pragmatique qui est au cœur de l'organisation de l'action est relié à de nombreuses variables dont les valeurs sont données par des indicateurs qui sont des observables de la situation. S'intéresser à ces indicateurs pour comprendre l'articulation des connaissances dans l'action découle donc également de l'hypothèse que le changement technique implique une reconstruction d'une structure conceptuelle de la situation engageant des articulations entre indicateurs et concepts pragmatiques.

Abstract

Agriculture is undergoing profound transformation in response to the global challenges of food security, pollution and climate change. In particular, some farmers are exploring and tentatively applying new practices based on agroecological principles. However, depending on biological regulation, these practices have uncertain results. In order to choose and monitor their changes, farmers use various indicators. In our study, we examined these indicators as they were applied in the implementation of technical changes, with a view to determining their exact nature, partly unexplored by agronomists. We held six interviews, performed a retrospective analysis of a redesign project involving five farmers and four advisors, observed collective visits at long-term field experiments, and organized a design workshop with eight farmers. We then coded the verbatim transcript in order to characterize the functions and attributes of the indicators, using the principles of grounded theory. Our results show that indicators have 22 different functions regarding the farmers' technical action, grouped into five categories. The most common functions are more learning-oriented than assessment-oriented, e.g., "adaptation-monitoring" with 92 out of the 260 statements on indicators identified, and "understanding-reinterpretation" with 107 out of 260 statements. The attributes of the indicators are predominantly visual (62 %), relative (63 %), and passive (75 %). In addition, we found that indicators used at a strategic decision level are specific, as they are mostly quantified, concern large time and spatial scales, and are essentially dynamic, that is, interpreted in as trends.

Keywords: Indicators; Cropping system; Design; Technical change; Step-by-step Redesign Process; Change Monitoring; Action.

Highlights

- Frameworks are proposed in order to refine the specification of roles and attributes of indicators.
- 22 specific roles of indicators necessary to farmers' action of technical change were characterized.
- Adaptation and monitoring of action, understanding and reinterpretation roles were the most represented.
- Passive, visual and relative forms of indicators were dominant overall the roles characterized.
- Specific attributes of indicators involved in strategic decision level were the long term time-scale, the farm spatial-scale and the dynamic form.

1 INTRODUCTION

In an agroecological approach, the re-design of cropping systems to reduce dependence on synthetic inputs requires profound technical changes based on ecological principles (Wezel et al., 2014). The application of such principles in agricultural practices is strongly linked with uncertainty. In fact, it requires that agricultural practices involve new objects like natural pest enemies, floral hedges or cover crops intercropped with cash crops. Knowledge on these objects, i.e. their functioning and interactions with other agroecosystem components, is scarce. Furthermore, the results of actions on these objects depends heavily on local biotic and abiotic conditions (Horlings & Marsden, 2011), and on long-term biological regulations. Productivity is thus highly dependent on local environmental conditions, by contrast with an approach consisting in applying inputs to reduce or overcome local biotic and abiotic constraints and thereby reducing uncertainty.

Chantre and Cardona (2014) found that farmers' change pathways toward such agroecosystem management often stretch over long periods and involve progressive changes and learning processes. Farmers gradually improve their cropping systems by modifying some of their practices year after year (Meynard et al., 2012). During this step-by-step re-design process, they need to combine short-term decision making with the longer time scale of biological regulation. Driving such long-term processes requires one not only to know if the system is evolving in the targeted direction, but also to adapt future actions according to the results obtained from past actions and according to feedback, and to validate new combinations of techniques suited to the local environment. In such progressive technical change, farmers need to confirm the validity of new technical choices, and to adjust specific practices even though the final results of these actions are not yet visible.

Agronomists have tended to resolve this dialectic between expected and actual states of an agroecosystem by means of numerous indicators (Deffontaines & Landais, 1988) developed to assess the various impacts of existing or simulated practices (Bockstaller et al., 2008). Gras (1989) defined an indicator as "a variable which supplies information on other variables that are difficult to access". Girardin et al. (1999) defined indicators as variables for which a quantitative value is determined and compared to a reference value. In agriculture, indicators are usually regarded as tools for assessment focusing on the impacts of practices on an environment, which some authors map on a cause-effect relationship axis (Bockstaller et al., 2008). The choice of suitable indicators has been addressed extensively, either through the development of participative methods for building and selecting salient indicators (e.g. Barrios et al., 2006), or through the question of their accuracy (Makowski et al., 2009) and the degree of correlation between the indicator and the phenomenon to which it relates.



Figure 5: A group of farmers engaged in a process of reducing pesticide use visits a long-term cropping-system experiment.

However, as indicators are mainly dedicated to impact assessment, their use by farmers is addressed only indirectly, and only in terms of feasibility (time and money costs), relevance (is it usable alone or should it be combined with other indicators), purposes, and types of calculations and data required (Bockstaller et al., 2008). Little is known about how available indicators may efficiently serve farmers' action and learning during the transitions of their cropping system.

In fact, these indicators have mostly been designed within the paradigm of steering of agronomic systems, in which it is assumed that a manager can determine the expected effects of an action with precision. This may however not be the case with complex innovative practices designed to enhance natural processes in agroecosystems. The results measured on fields (e.g. yields) are attributed to integrated effects, but farmers may need indicators to assess other effects of an action on a system. In the agroecological approach, the need for specific indicators is sometimes acknowledged. For instance, Warner (2007) suggests that intensive rotational grazing requires that graziers "must be able to observe and interpret agroecological indicators of plant-animal interactions in their pastures". However, there is no characterization yet that would specify what such agroecological indicators are.

Our objective in this paper was therefore to identify and characterize the diversity of indicators used by farmers during progressive technical changes towards cropping systems underpinned by ecological principles. We wished to understand the different functions that these indicators fulfill in the course of the action, and how this can be used by agronomists to produce new indicators specifically for these types of action. In the following section we describe the different methods that we applied to identify these indicators, and the situations and farmers that we selected. In the Results and Discussion sections we present the functions and attributes of these indicators throughout the technical changes implemented, and compare our findings to existing characterizations of indicators, either in agronomy or in other domains.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Description of the four case studies

Table 11 : Summaries of the case-studies

		1	2	3	4
cases studies		<i>interviews with farmers</i>	<i>analysis of a past redesign project</i>	<i>visits of system trials with groups of farmers</i>	<i>farmers meeting to design a technical change</i>
methods used		semi-structured clarifying interviews	semi-structured interview, traces analysis (meetings written documents, mid-term report)	observation	facilitation, observation
number of actors concerned		6 farmers	5 farmers, 2 facilitators, 2 advisors	2 groups of ~10 farmers	8 farmers, 1 advisor
location (farmers)		North-western France	Northern France	North-western France	Central-western France
decision levels addressed	operational	+++	+	+++	-
	tactical	++	++	+	++
	strategic	+	+++	-	++
progress level in a technical change	choice	++	+	++	++
	adaptation	+++	++	+	+
	consequences	+	++	-	-
main crops		crops: wheat, rape, barley, hemp, sunflower, maize, pea, alfalfa, faba bean, triticale-alfalfa mixture <u>livestock</u> : cattle	crops: wheat, rape, barley, beet, sunflower, maize, alfalfa, faba bean, potato <u>livestock</u> : sheep, poultry	crops: wheat, barley, rape, maize, alfalfa, pea, flax, linen	crops: classical arable crops of the region, mainly wheat, rape, barley, pea, potato
main goals of the cropping system redesign		- improve soil structure and biological activity by reducing tillage; - introduce legume crops to manage N fertility - improve weeds management by crop succession and cover crops	- decrease pesticides use by implementation of integrated management - improve weeds management by crop succession and cover crops	- decrease fossil energy use - eliminate pesticides use - decrease greenhouse gas emissions	- decrease pesticides use by diversified crop succession, integrated crop management, mechanical weeding

The locations correspond to the farms (cases 1, 2 and 4), or the experimental station (case 3). The signs indicate the diverse possibilities for accessing decision levels and progress levels in technical changes in the case studies, with a gradient between '-' for absence, and '+++ for predominance of the specific level in the case study.

Our research draws on four case studies consisting of: semi-structured interviews with farmers; a retrospective analysis of a redesign project involving farmers and their advisors; observations of farmers' visits to cropping system trials; and design workshops with groups of farmers concerning their current agronomic problems. Farmers were interviewed during visits of trials at experimental stations (in-field), at their home or at farmers' meeting (out-of-field)(Table 11). These four case studies allowed us to identify the widest variety of indicators used in cropping system redesign as they covered:

(1) *different levels of progress within a redesign process*, relating to three main steps identified by Toffolini et al. (in revision): the choice of a technique to apply in a cropping system and the preparation of its implementation; the adaptation and monitoring of action, the stabilization of an operational method, and the confirmation of the viability of the practice; and the evaluation of the consequences of the implemented practices on the agrosystem, including elements other than those targeted by the new practices;

(2) *operational, tactical and strategic decision levels*: the operational level corresponding to the adjustment and monitoring of a practice within the crop growth cycle, the tactical level corresponding to the short-term choice of techniques to apply; and the strategic level corresponding to the application of one or several techniques to achieve a long-term result (e.g. reduce a disease by choosing appropriate crop succession or sowing dates);

(3) *different redesign goals and related technical changes*. In the field, we accessed indicators related to visual observations and to references to a specific state of the agrosystem. Out of field, we accessed indicators related to an entire process of technical change, and concerning diverse situations a farmer might encounter. These indicators were therefore more generic.

2.1.1 Interviews with farmers engaged in the processes of redesigning their cropping system, or who had participated in a redesign project (case studies 1 & 2)

We interviewed 11 French farmers who were all in the process of redesigning their cropping system. Three farms had crop-livestock systems and 8 had only arable crops systems. The semi-structured interviews focused on specific technical changes that had taken place in recent years or were in progress or even in a preparation stage. We selected those changes that relied more broadly on natural processes. The redesign goals concerned arable crops, e.g. combination of crop practices to reduce weed pressure and insecticide use; introduction of legume crops to manage nitrogen fertility through crop succession; and improvement of soil structure and biological activity through reduced tillage and cover crops (Table 11). To minimize the possible bias due to the farmers' reconstruction of history, we focused on recent technical changes they considered most relevant to their cropping system changes. To get technical details on their actions, we asked farmers for precise details on the management of related practices, and the information they collected to implement them. In addition, we consulted any available documentation they had collected on a technique.

Among the farmers interviewed, 5 had participated in a redesign project facilitated by an intermediary organization between research and development, between 2003 and 2012. Interviews

with 2 advisors and 2 project managers from this organization allowed us to identify specific indicators that had been presented and used during the project. We paid attention to the fact that some indicators were proposed by the group facilitators, while others were identified and chosen by the farmers themselves. To complete these interviews, we analyzed a mid-term report on this project (March 2007), focused on a selection of indicators related to actual practices measured on farms. On the basis of these complementary analyses, we were able to explicitly ask the farmers about their use of the indicators.

2.1.2 Observations during visits to cropping system trials on experimental stations with groups of farmers (case study 3)

Long-term system experiments are recognized as useful tools for agricultural system step-by-step design and for the production of knowledge for monitoring evolving agroecosystems (Coquil et al., 2014). We therefore monitored 2 different groups of farmers during visits to 2 cropping system trials, in order to capture knowledge exchanges about indicators. The same agronomist led a tour of the tested cropping systems at both locations. While the group was walking through the different plots, he commented on the current crops and their observed state, explained the main challenges and management difficulties, and provided a history of the past crop management of each plot. We recorded the discussions and farmers' comments. They mainly related to the situations, some visual observations made directly, and the technical choices and precise steps or modalities in crop management. These situations afforded access to indicators corresponding to what farmers looked at in fields, and what such observations need to be combined with (e.g. situation characteristics, past management) in order to assess the state of a system.

2.1.3 Design workshop with a group of farmers (case study 4)

We organized a one-day workshop with a group of farmers who were trying to decrease pesticide use (Table 11). As all the farmers were facing growing pressure from thistle in their fields, the workshop focused on this issue. First, the farmers were asked to present their farming and cropping systems to the group, and to explain how the thistle occurred on their farm. Second, we facilitated the comparison of strategies. Third, we provided a wide diversity of written documents concerning techniques that could contribute to thistle control, and the eco-physiological aspects of this species. Finally, the farmers were asked about the specific knowledge they used from the documents, and how it helped them to think about possible technical changes. All discussions were recorded. We identified indicators mentioned either during the presentations of farming situations, or during discussions about opportunities to implement certain techniques. This workshop enabled us to identify indicators used during the preliminary design of a technical change, thus at agronomic strategic level (Table 11).

2.2 Data analysis: identification of functions and attributes of indicators

We transcribed all the interviews and recorded meetings to collect all the excerpts corresponding to an indicator. We considered an indicator to be any type of information about a variable, that can either be collected in a situation or help to refer to a situation, and that can correspond to the

structure or the state of objects or a system of objects, as well as to fluxes within a system, or to the farmer's actions on the system. As we were particularly interested in the relation between the indicator and the action it relates to, we confirmed the identification of an indicator when it was explicitly related to an action (past or future). The subsequent treatment of data followed the principles of grounded theory (Glaser & Strauss, 2009): we chose not to draw up comprehensive lists of functions or attributes beforehand, so that these lists would rather be the outcome of data analysis. To define the various functions of indicators, we coded each excerpt of an indicator according to the way the farmer's action was supported. Throughout the data analysis, and after several iterations, we grouped the functions together in order to get the lowest number which would still explain the diversity. The functions were thus interpreted from farmers' discourse, and described according to their point of view. Likewise, to define each indicator we built a framework of attributes from the analysis of our data rather than *a priori*: we collected all descriptive words that characterized the indicators and grouped them by categories to get the lowest number which would still reflect the diversity encountered. This made it possible to include relevant categories for analyzing their relation to action. These two parallel characterizations allowed us to look for links between functions and attributes of indicators.

3 RESULTS AND DISCUSSION

In all the case studies together, we identified 260 statements corresponding to indicators. A large majority was provided by the interviews (117 from simple interviews, 107 from the retrospective analysis of the redesign project) compared to other sources (13 from the farmers meetings, 23 from the visits of system trials).

3.1 Functions fulfilled by indicators for farmers' action

3.1.1 Identification of 22 functions sorted into 5 categories

Among the 260 statements of indicators, we distinguished 22 functions grouped into 5 categories (Table 12):

(i) The *choice* of a technique (e.g. selection of varieties, choice between two crop management plans): this consisted of two distinct functions concerning the tactical level: compare technical options (1); and identify the characteristics of an initial situation (like soil properties) to adapt the technical choice (2). These functions corresponded to indicators used in a preparatory step for the implementation of a new action.

(ii) The *adaptation-monitoring* of ongoing action: indicators were mainly applied at the operational level in order to: refine a modality of action (3); determine optimal conditions for the application of the chosen technique (4); trigger the action (5); and identify an ongoing dynamic to adapt the action (6). We also identified a function at the tactical level: identify a key stage in a crop management plan in order to reach an objective (7).

(iii) The *verification of the expected effect and diagnosis of viability* of an action or technique never implemented previously. Three functions concerned the operational level: know that the expected action has been performed (8); validate the fact that an intermediate state of the system was reached when such a state was previously identified by the farmer in past experience (9); and verify the effectiveness of the action (10). Other functions concerned the tactical and strategic levels: verify the viability of a technique (11); and interpret the viability of a strategic choice (12).

(iv) The *anticipation* of a system's evolution or of a result: This category encompassed functions at all three decision levels. Hence, expectations concerned widely diverse time scales, from a few weeks to several years. At operational level, it was to: anticipate a system's evolution in the short term (13); and assess a potential to provide a specific function (14). At the tactical level, it was to: identify an intermediate state of the system considered necessary in order to achieve a result (15). Finally, at the strategic level, functions were to: identify a long-term direction for the system's development (16); and know that the system remains in manageable states (17).

(v) The *understanding-reinterpretation* either of a functioning of natural processes and biological regulations, or the potential effects of the action on these processes. In this category, functions were to: identify an ongoing dynamic to reinterpret a strategic choice (18); identify an intermediary state of the system to reinterpret a posteriori the effects of an action (19) (this corresponds to the identification of a specific state of the plant, field, or ecosystem that the farmer cannot explain yet but keeps in mind for later interpretation); reinterpret the effect of action (20); identify a bio-physical cause-effect link (21); and identify a strategic cause-effect link (22) (the term 'strategic' refers here to combinations of practices motivated by a same agronomic principle). Examples of indicators and the associated excerpts are presented in Tableau 13.

The functions that indicators fulfill in the course of a farmer's action are seldom discussed in the agronomic literature but we found consistency between the typology we proposed and a few others, in agronomy and other domains (environment management, ecology). Bockstaller et al. (2008) proposed a list of objectives set when designing new indicators, including "ex ante evaluation of actions in a planning phase; ex post evaluation of an action at the end or during its implementation; monitoring purposes with an alert function; decision support in real time to drive the system; and communication". These categories are refined in our first three categories. But they are focused on evaluation, whereas we enlarged the functions of indicators, so that they are not only normative but also provide descriptive elements to support action. This is consistent with Heink and Kowarik (2010) who separate normative indicators (including evaluative and prescriptive functions) from descriptive indicators, but there again without taking a point of view focused on the farmer's action. Our last two categories of functions (anticipation and understanding-reinterpretation) are therefore the most explicitly related to actions whose effects largely depend on local conditions and are incompletely known – which might explain why they were seldom identified in the literature. A counter example can be found in Meynard et al. (1997), who specified indicators' functions in the case of a tool

Table 12 : The 22 functions of indicators identified.

Categories of functions	Decision levels	Functions	Nb	steps in change			Nb. per category
				1	2	3	
(i) choice	tactical	1 Comparing technical options	9	X			41
	tactical	2 Identifying features of an initial situation to adapt a technical choice	32	X			
	Total in this category			41			
(ii) adaptation monitoring	operational	2 Refining a modality of action	16	X	X		92
	operational	4 Determining the optimal conditions for application of a technique	20	X	X		
	operational	5 Triggering the action	29	X	X		
	operational	6 Identifying an ongoing dynamic to adapt the action	33	X	X		
	tactical	7 Identifying a key step in crop management to reach a goal	14		X	X	
Total in this category			112				
(iii) verification diagnosis	operational	8 Knowing that expected actions have been performed	13		X		74
	operational	9 Validating that an intermediate state of the system is reached	10		X		
	operational	10 Verifying the effectiveness of the action	27		X		
	tactical	11 Verifying the viability of a technique	21		X		
	strategic	12 Interpreting the viability of a strategic choice	18			X	
Total in this category			89				
(iv) anticipation	operational	13 Anticipating an evolution of the system	6	X	X		54
	operational	14 Assessing a potential to provide a specific function	12		X		
	tactical	15 Identifying an intermediate state of the system necessary to achieve a result	15		X		
	strategic	16 Identifying a direction in the evolution of the system	20	X	X	X	
	strategic	17 Knowing that the system remains in (situations) states that one knows how to manage	9	X	X	X	
Total in this category			62				
(v) understanding reinterpretation	strategic	18 Identifying an ongoing dynamic to reinterpret a strategic choice	17			X	107
	tactical	19 Identifying an intermediary state of the system to reinterpret the effects of action <i>a posteriori</i>	18		X	X	
	operational	20 Reinterpreting the effect of action	36		X		
	operational	21 Identifying a bio-physical cause-effect link	58		X		
	strategic	22 Identifying a strategic cause-effect link	14			X	
Total in this category			143				

They are grouped in five categories: (i) choice, (ii) adaptation-monitoring, (iii) verification-diagnosis, (iv) anticipation, (v) understanding-reinterpretation. The column 'Nb' counts the number of indicator statements (identified in excerpts) which correspond to each function. The column 'Nb. per category' counts the same for each category of functions (this figure is smaller than the intermediary totals in column Nb, showing that same statements often play two different functions in the same category). The different functions are also associated with the successive steps in technical changes: '1' for choice of the technique, decision to apply it, preparation for implementation; '2' for tests, adaptation of specific monitoring of action, stabilization of operational method; and '3' for evaluation of consequences on the system, other related and/or necessary changes. Finally, decision levels are displayed.

supporting the monitoring of nitrogen fertilization. By showing that a function of the indicator was to *“access fertilizer strategy a posteriori: [that] may lead to rectification the following year according to the rules adopted for nutrient application planning”*, they added a learning dimension to the indicators’ functions, which can be likened to the functions of category v (18, 19, 20, 21 and 22).

The functions identified in the literature therefore relate to different scales and points of view (for instance, sometimes defined according to the farmers’ activity, sometimes according to the necessity to monitor impacts of farmers’ action on an environment possibly managed by others), which prevented us from building a complete conceptual framework. Our typology makes it possible to identify clearly the functions taken into account for farmers’ action, and complements them with a dynamic approach to technical change.

Tableau 13 : Examples of indicators for each function identified

Functions	Examples
1 Comparing technical options	Visual weed pressure on the following crop to compare the weeding effect of two crops: <i>"It is either rye or triticale, and I observed, there's no doubt, in the triticale field weeds appeared, the crop was a bit weak, whereas the rye cleaned the plot and you know what, after a month it was obvious, you could see the part... you could still could see the pre-crop effect of rye."</i>
2 Identifying features of an initial situation to adapt a technical choice	Dominant weed species on a plot: <i>"You have to know your own plot, what dominant weed flora is present in the plot, what problematic weeds. [...] If the plot presents such or such a weed that bothers me, I try to choose my crops according to them."</i>
3 Refining a modality of action	Destruction rate of a permanent alfalfa cover before wheat sowing: <i>"discussing with P.T., it's only there that I had partial answers. He said that at least 50% of the alfalfa had to be destroyed."</i>
4 Determining the optimal conditions for application	Climate during the days following mechanical weeding: <i>"You've got to have the right weather conditions afterwards, you need to have a dry day for it to be efficient."</i>
5 Triggering the action	Date-plant stage-aphids presence combination for triggering an insecticide spraying: <i>"On oilseed rape, aphids in the fall, we know that until such a date and such a stage you have to be vigilant. I check beforehand, I go to see my oilseed rape at the two-leaf stage, I look, no aphids, I drop it. If at 4-leaves there are aphids, they have exceeded the stage, I don't treat them anymore."</i>
6 Identifying an ongoing dynamic to adapt the action	Carabids presence to decide whether to treat for slugs or not: <i>"And a plot that I'd taken over, man, I had sown rapeseed, and then I noticed that there were ground beetles, ah I said, this plot'll be okay, there are lots of beetles. I had fewer ground beetles, and then I went away for two or three days. And when I got back all the rapeseed had been eaten..."</i>
7 Identifying a key step in crop management to reach a goal	A calculated indicator for weed pressure in crop succession: <i>"For instance, if the fact of doing a false seed bed at a specific moment, it's very important for the risk of weed pressure not to rise, to stay low, for instance."</i>
8 Knowing that expected actions have been performed	Seedbed state after direct sowing: <i>"And since things turned out very badly, there were a lot of seeds on the surface [...] I said okay, too bad, I gave up the idea of doing the whole plot, so I hitched the plough."</i>
9 Validating that intermediate state of system is reached	Threshold in rape plant density: <i>"There are thresholds, my rape's missing so many plants, whether it branches or not, in any case it lacks plants so it's penalized automatically."</i>
10 Verifying the effectiveness of the action	Percentage of weeds eliminated by a mechanical weeding: <i>"For me it was I have weeds that are there, I want to get rid of them, I believe that if I've still got that percentage compared to what there is, I'll be happy."</i>
11 Verifying the viability of a technique	Growth of the crop after a green manure: <i>"Until now I haven't evaluated it until the yield, but yes in the growth spurt at the beginning it shows. Afterwards, in its performance, it is possible, it's true that this year the spring crops were superb, and there had been a prior green manure, and they were really good. But there may also be a season effect."</i>
12 Interpreting the viability of a strategic choice	TFI evolution over several years, compared among farmers in a group: <i>"I did so much that now I'm starting to increase in the herbicides again"; "Otherwise, we were talking to thin air. Whereas there it was more on overall strategies, all that, we realized how things evolved over the years."</i>

Table 13 : (continued)

Functions	Examples
13 Anticipating an evolution of the system	Crop population structure (density, vigor) to anticipate diseases' development: <i>"Anyway the diseases will always appear where your plant is a bit weak. This is where it first breaks out. _ Yeah but for diseases there is also the density which is also really important. Density, biomass. With a high biomass high humidity at the field level diseases tend to develop more."</i>
14 Assessing a potential to provide a specific function	Cover crop structure to assess the covering of soil: <i>"It's true that I saw what it gave in terms of volume, it is true that it covered the ground very well. We saw that there was different vegetation on different levels of coverage."</i>
15 Identifying an intermediate state of the system necessary to achieve a result	Position of the pea flowers in the crop stand which corresponds to good vigor: <i>"Anyway peas are easy, as soon as you see the flowers that emerge, it's not good, the flowers should be inside. As soon as you see the flowers appear on the surface you're done for. Even a plot of this color there, the flowers should be like this, inside."</i>
16 Identifying a direction of the system's evolution	Yield stagnation when implementing a new crop sequence: <i>"I realize very quickly the limits of the system, because the yields are capped, I see the need to use more pesticides, and also to spray a lot."</i>
17 Knowing that the system remains in (situations) states that one knows how to manage	A 3-years forecast of a calculated risk of weed pressure: <i>"Because it's there too, which was interesting, you'd see that in that year you'd have quite a high risk for those weeds, but as your rotation happened afterwards with other impacts, you were aware that the following year or two years later your risk was not increasing, it was even decreasing, although there was no herbicide treatment."</i>
18 Identifying an ongoing dynamic to reinterpret a strategic choice	Thistle pressure dynamic in a specific crop sequence: <i>"Within two years, in the seed-crop, in the time it took to grow the wheat, we had the first thistles coming up and in the seed-crop we already had the first patches."</i>
19 Identifying an intermediary state of the system to reinterpret the effects of action <i>a posteriori</i>	Crop structure when sown densely: <i>"We sowed densely, so we ended up having fragile stems, so we put in a growth regulator because they grew towards the light so it was frayed like that, we put in a growth regulator to have them like that, we put in lots of nitrogen, so that whole pattern."</i>
20 Reinterpreting the effect of action	Wheat regrowth after rotative harrow weeding: <i>"But three days later everything started to grow and it was on the way again, because in fact the rotating harrow, the roots of wheat are much stronger at this stage than the roots of the weeds, so the weeds are ripped because they are at the white filament stage."</i>
21 Identifying a bio-physical cause-effect link	Nitrophil weed fragility caused by localized N fertilization: <i>"And I have the feeling that nitrophilous plants, not having any nitrogen between the rows, were more prone to weed control. I don't mean that because there was less nitrogen they didn't grow, they grew the same, it's the same."</i>
22 Identifying a strategic cause-effect link	Comparison of treatments applied on strips with different crop management strategies: <i>"We were doing our usual crop management, which was often advised by cooperatives, or a development group, and then next to what we put in integrated management, and then we left control strips. And when we saw that we were coming up almost to heading and that there was no disease in our control strips and that conventional crop management was already onto its fourth fungicide, there was clearly something wrong."</i>

3.1.2 Quantitative analysis: an extensive use of the indicators for farmers to build a reflexive understanding of their own practices and agronomic reasoning

The individual functions most frequently encountered were functions 21 (n=58 statements), 20 (n=36), 6 (n=33), 5 (n=29) and 10 (n=27). Whereas functions 5 (triggering the action) and 10 (verify the effectiveness of the action) corresponded to well-known functions in the literature, the others (6, 20, 21) were newly identified. Like most other functions (17/22), they corresponded to indicators used in the second step of technical change (Table 12). This step corresponds to the first implementations of new techniques. It is defined as an adaptation phase of the specific management and monitoring of a practice to the local situation. It thus requires farmers to identify the expected or potential effects of new actions and, accordingly, to refine the modalities of action. Among the five categories of functions, the adaptation-monitoring (ii), and the understanding-reinterpretation (v) categories were used most (92 and 107 statements respectively out of 260), whereas most of the indicators produced in agronomy have been designed to assess the overall performance and the impacts of cropping systems, which would correspond to our categories 'verification-diagnosis' (iii) or 'anticipation' (iv), which are represented far less. The predominance of category (v), 'understanding-reinterpretation', matches the fact that farmers question their own reasoning, which evolves with their management of agroecosystems. Some studies have also described a learning function of indicators (e.g. Marchand et al., 2014; Wustenberghs et al., 2012), exploring farmers' approach and understanding of sustainability and sustainable farming. Wustenberghs et al. (2012) mention that discussions based on indicators "can lead to changes in attitudes, norms, perception and behavior". We have underlined the importance of indicators for the reflexive approach and evolution of the agronomic reasoning that farmers associate with their own practices.

Surprisingly, we could not clearly identify a function corresponding to an early warning for an unwanted trend of the system, often mentioned in the literature (e.g. Barrios et al., 2006; Fränzle, 2006). We did however distinguish different functions concerning long-term dynamics which can be related to warning functions and which matched descriptions of long-term indicators in previous studies (e.g. Dalgaard et al., 2012). These were mostly functions (16) and (17). Actually, in our case studies, farmers implemented some practices they had never experimented with before: they often did not know which immediate action needed to be taken following a warning signal. Nonetheless, they were intently modifying their system, aware that some unexpected changes might occur. They were thus ready to reinterpret their actions *a posteriori* and to adapt their future decisions accordingly.

To sum up, the framework of functions we built clearly emphasizes the need to consider the adaptation-monitoring, understanding-reinterpretation functions of indicators, which can be termed 'learning functions', during technical changes involving natural processes and innovative techniques. In fact, these learning functions were quantitatively dominant in our study.

3.2 Attributes of indicators

3.2.1 6 categories of attributes identified

Table 14: Presentation of the framework of attributes.

Attributes		Prop.	Examples
Categories	Modalities	(%)	
nature	visual	63	Plant stand structure (soil cover, density, relative height); crop color changes; plant (crop, weed) development stage; wheat lodging; direct adjacent environment of a plot.
	phy-chem. char.	5	soil characteristics (stoniness, porosity, humidity, etc)
	calculation	5	treatment frequency index (TFI); number of days between harvest and stubble ploughing.
	measure	27	number of stems per square meter; yields; depth of soil tillage
form	binary	8	Existence of wheat lodging; presence of natural pest enemies
	relative	62	relative height of crop and weeds; plant stand structure and soil cover; weed pressure; crop growth dynamic
	quantitative abs.	17	number of stems per square meter; end date for cover crop sowing
	quanti. /group	4	yield; number of herbicide treatments; stubble plough depth
	quanti. /initial sit.	9	yield evolution; soil organic matter content evolution
time scale	multi-year	19	3-years forecast of a calculated weed pressure risk
	object of action	58	crop stage; disease development; discoloration of double density strips
	subsequently	11	growth vigor of a crop following green manure; relative weed pressure on the following crop; yields of the 2 or 3 following crops; weather in the days following harrowing
	long term	12	soil characteristics; evolution of natural enemy populations; past crop successions on a plot
spatial scale	object of action	25	crop stage and growth dynamic; relative height of plants; weeds' state after mechanical weeding
	other object	18	presence/absence of natural pest enemies; weeds as bioindicative plants; worm counting
	plot	45	crop stand aspect in the spring; yield; sowing density; weeds presence; pre-crop effect of legumes
	farm	12	treatment frequency index; microclimate
acquisition	passive	75	crop growth dynamic; plant stage; presence / absence of natural pest enemies; wheat lodging; dominant weed species on a plot
	active	25	double density strips; measured depth of soil ploughing; soil organic matter content
dynamics	tendency	30	yield evolution; disease progression on plant and on the plot; weed pressure calculated risk over several years; weed pressure progression over the years on the same plot
	static	70	sowing density; end date for crop sowing; weeds density thresholds for treatments

'Phy-chem char.' stands for physic-chemical characteristics ; 'quantitative abs.' for quantitative in absolute terms ; and 'quanti. /group' and 'quanti. /initial sit.' for quantification in reference to a group mean or in reference to an initial situation on the same farm, respectively. We distinguished six categories, and from two to four modalities per category. The column 'Prop.' gives the percentages (among all statements analyzed) of each modality within a category. Bold modalities and greyed cells correspond to the highest proportions.

The first output of our analysis of the attributes of indicators was the identification of six main categories of descriptions, including two to five modalities (Table 14). We distinguished indicators according to their nature: visual, physical-chemical feature, calculated, or measured. The ‘visual’ attribute, by contrast with the ‘calculated’ and ‘measured’ ones, corresponds to information deduced from non-instrumented observations. It can correspond to quantitative information, but mostly refers to a relative reference framework. We then distinguished the indicators according to their form: binary, relative, quantified in absolute terms, in reference to an initial situation, or in reference to a value in a group of farmers. A binary indicator is a variable which takes only two different values, like the presence or absence of different populations (pests, natural enemies), without the need to quantify them. Farmers’ comments about such binary indicators highlighted their objectivity, and their easy and robust interpretation. We then distinguished indicators according to their time scale, that is, the period concerned by the information collected: multi-year – two or three years running, e.g. concerning pre-crop effects –, time scale of the object of action, information acquired subsequent to the action, e.g. effect of a specific crop deduced from the state of a plot during the following crop growth –, long-term evolution – relating to evolutions spread over more than two or three years or to trends that cannot be noticed from one year to another –. We then distinguished the indicators according to the spatial scale of: the object of the action, objects other than the one targeted through the action, the field, the farm. In both time and spatial scales, we used the item ‘object of action’. This corresponds to the agronomic objects that are directly manipulated by the farmer and are at the center of attention during the technical change (e.g. the crops themselves when new crops are being introduced, or the weed populations when the crop sequence and management are being adapted to control weed pressure). We then distinguished the indicators according to their mode of acquisition (Fränze, 2006): ‘active’, when instrumentation or specific management is intentional (e.g. the double-density sown strip), or ‘passive’, meaning that spontaneous phenomena are observed without other means than the farmers’ own body. We finally distinguished the indicators according to their frequency of assessment (static, repetitive). These attributes are summed-up in Table 14.

3.2.2 Quantitative analysis: passive, visual and relative indicators are dominant to support the design of technical changes

Of all the indicators identified, some modalities were predominant in each category of attributes (Table 14). Most indicators were visual (63%) (examples are displayed in Table 14); the calculated (5%) and measured (27%) indicators were mentioned in surprisingly low proportions. Whereas most of the indicators produced by agronomists are quantitative (Gras, 1989), it has been pointed out several times that visual indicators are also relevant (e.g. Mairura et al., 2007), particularly in relation to bio-indicators in ecology (Heink & Kowarik, 2010). Second, the indicators were predominantly in a relative form (62%), notably because 87% of visual indicators are relative. What we call relative indicators acknowledges that the reference itself may be in a relative form, or defined in relation to other variables (e.g. in intercrop, height of alfalfa relative to wheat, to trigger an action). Relative indicators were either not quantifiable, or interpreted in rough terms and without figures although they were related to quantities. This was at the expense of quantified (29%) or binary (8%) indicators.

Third, most of the indicators were at the time scale of the object of the action (58%) whereas indicators that were multi-year, long-term and subsequent to the action were found in comparable proportions (19%, 12% and 11% respectively). Fourth, concerning spatial scales, modalities were more distributed, with a slight majority at the plot scale (45%), and 25% of the indicators focused on the object of action. The relevance of such scales for action has already been discussed by Duru (2013), who underlined that the indicator of sward height on grazed fields, at paddocks scale, is “unsuitable for managing pastures over a grazing season because they cannot indicate grazing efficiency at the farm level”. Our contradictory analysis may be tempered by the fact that we confirm that all possible spatial scales are taken into account. A relatively high proportion of indicators concerned objects other than those directly targeted by the action (29%). Fifth, the passive indicators were largely predominant (75%) compared with active indicators. Finally, we identified that 30% of the indicators concerned tendencies observed either in the short term or over several years.

To sum up, it appears that the combination of dominant attributes corresponds to visual, relative, passive and static indicators on the time-scale of the object of action and the plot spatial scale. We showed that dynamic interpretations were prevalent for some indicators classically used as quantified values compared to thresholds (e.g. yields were assessed as much according to their absolute value, as according to their evolution in relation to a new strategy applied; and the weed pressure was often expressed in terms of evolution rather than absolute quantity).

3.3 Relations between functions and attributes of indicators

Cross-comparing functions and attributes of indicators makes it possible to identify specific types of indicators that should be produced to equip farmers for deep technical change.

3.3.1 Original attributes of indicators mainly correspond to functions at strategic decision levels

There was a global stability of predominant attributes among all five categories of functions: visual, relative, and passive indicators, considered at the time of the action and at the plot scale, and static.

When focusing on the attributes that differ from the predominant profile, we find that most of them correspond to functions associated with the strategic decision level (functions 12, 16, 17, 18, and 22) (Tableau 15).

Tableau 15: Predominant attributes of indicators within each specific role.

functions	attributes						
	nature	form	time scale	spatial scale	acquisition	dynamic	
(i)	t 1	visual	relative	object of action	plot	<i>active</i>	static
	t 2	visual	relative	<i>long term</i>	plot	passive	static
(ii)	o 3	<i>measure</i>	<i>quantified absolute</i>	object of action	<i>object of action</i>	passive	static
	o 4	visual	relative	object of action	plot	passive	static
	o 5	visual	relative	object of action	plot	passive	static
	o 6	visual	relative	object of action	plot	passive	<i>tendency</i>
	t 7	<i>visual, measure</i>	relative	<i>subsequently to object</i>	plot	passive	static
(iii)	o 8	<i>measure</i>	<i>quantified absolute</i>	object of action	<i>object of action, plot</i>	passive	static
	o 9	visual	relative	object of action	plot	passive	static
	o 10	visual	relative	object of action	plot	passive	static
	t 11	<i>measure</i>	<i>relative, quanti. /initial</i>	object of action	plot	passive	static
	s 12	<i>visual, calcul</i>	<i>relative, quanti. /group</i>	<i>multi-year, long-term</i>	<i>farm</i>	<i>active</i>	<i>tendency</i>
(iv)	o 13	visual	relative	object of action	<i>object of action</i>	passive	<i>tendency</i>
	o 14	visual	relative	object of action	<i>object of action, other obj.</i>	passive	static
	t 15	visual	relative	object of action	plot	passive	static
	s 16	<i>visual, calcul</i>	<i>relative, quanti. /initial</i>	<i>multi-year</i>	<i>farm</i>	<i>active</i>	<i>tendency</i>
	s 17	<i>visual, calcul</i>	<i>relative, quanti. abs. & /initial</i>	<i>multi-year</i>	<i>plot, farm</i>	<i>passive</i>	<i>tendency</i>
s 18	<i>visual</i>	<i>relative</i>	<i>object of action, multi-year</i>	<i>other object</i>	<i>passive</i>	<i>tendency</i>	
(v)	t 19	visual	relative	object of action	plot	passive	static
	o 20	visual	relative	object of action	plot	passive	static
	o 21	visual	relative	object of action	<i>other object</i>	passive	static
	s 22	<i>measure</i>	<i>relative, quanti. /group</i>	<i>multi-year</i>	<i>farm</i>	<i>active</i>	<i>tendency</i>

'quanti. abs.', 'quanti. /initial' and 'quanti. /group' stands respectively for quantification in absolute terms, in reference to a group, in reference to an initial situation on the same farm.

In the left end column, brackets refer to the categories of role; letters correspond to the levels of decision ('o': operational, 't': tactical, 's': strategic); the number refers to the number of the individual roles. We have emphasized in italics the predominant attributes that differ from a general profile and in grey the observed characteristics of indicators concerning the strategic level.

They present a larger proportion of calculated and quantified indicators, concerning either multi-year or long-term time scales. The majority were at farm scale, were active, and were observed as tendencies. Moreover, they were analyzed in combination with other types of indicators, in order to align the assessment of applying a strategy with the observations of agronomic results and the evolution of situations. For instance, the percentage of winter crops (and its trend) was aligned with the farmers' evaluation of weed pressure (on a visual scale), to interpret the possible agronomic relation. We also found cases of combinations of two indicators of farmers' practices that made it possible to reinterpret the effect of techniques and the viability of strategies. For instance, they aligned the mean dates of wheat sowing with the number of herbicide applications, calculated for each farm and several years, as a means to reinterpret the effect of the technique. They also used comparisons within the group to explain the particularities of some agronomic situations.

Indicators at this strategic level are rare in agronomy. Those identified in the literature mainly concern functions at the operational and tactical levels. Nonetheless, a few examples of indicators at strategic level can be found, corresponding for instance to the assessment of the evolution of practices at farm level, or the monitoring of the system's sustainability (e.g. Marchand et al., 2014). Here, we show that the indicators designed to play functions mainly at the strategic decision level are strongly mobilized by farmers (58, that is, 22% of all statements), which may encourage agronomists to focus on them. They also need to be combined with other observations in order to reinterpret the effects of actions and identify strategic cause-effect links.

3.3.2 A robust framework that points to new indicators to develop

From a variety of case studies, we identified the functions and attributes of indicators that are used throughout the implementation of technical changes during re-design processes. These frameworks of attributes and functions allowed us to represent the diversity of the indicators encountered. This suggests that the frameworks are robust enough to be re-used in other cases even if the distribution of indicators within these frameworks would certainly vary with other types of production systems redesign (e.g. with a predominantly livestock system). The major functions and attributes provide useful guidelines for agronomists to develop new indicators that make redesign processes possible and that support them.

From the functions analysis, we showed that indicators are needed primarily for learning purposes, rather than for assessment and evaluation purposes only. These learning functions seem necessary, so that farmers can connect technical changes to the rest of their cropping system: *"We are working with life forms. How do we know that at some point we've improved or worsened a situation? We don't know, we know at the end of the year when we've harvested, but we know in relation to a yield; what about compared to something else? What about the soil life, the weeds, natural pest enemies, have we improved or worsened the situation? We don't know anything. [...] we're in a total haze"*, (a farmer). Learning functions corresponded to all three decision levels that we distinguished. In fact, they concerned farmer's action *per se* as much as all the possible consequences of that action, and the bio-physical processes and causal relations that are impacted by it, or that explain its results.

Based on the attributes analysis we have shown that the indicators corresponding to these learning functions are mainly visual, relative, on the time scale of the object targeted by the action, and static. All these attributes are original compared with those reported in the literature. The visual nature of indicators has sometimes been acknowledged in the literature (e.g. Mairura et al., 2007), who underscore “the value of taking into consideration the visual and morphological soil characteristics used by farmers”), but mainly for the assessment of characteristics such as soil fertility. The spatial scales of learning indicators show more diversity, as they concern objects other than those directly relevant to the action (e.g. the following crop, bio-indicative weeds, natural pest enemies not considered in technique planning). This has seldom been noted in the literature, except for bio-indicative weeds. Murage et al. (2000), for instance, pointed out that “farmers reported that the red top grass appears after long-term cultivation, that has resulted in infertile and compacted soils”. Finally, these indicators are mostly passive. Whereas this is common for ecological indicators, namely in the case of bio-indication (Dziocik et al., 2006), active indicators are predominant in agronomists’ production: e.g. Nitrogen Nutrition Index, (Prost & Jeuffroy, 2007); soil mineral N content at the end of winter; and double-density sowing strip for nitrogen fertilization monitoring, developed on scientific bases proposed by Limaux et al. (1999). Our study shows that passive indicators provide a necessary focus in a situation (e.g. on certain plants’ or pests’ presence, on morphological states of cultivated crops, on soil aspects) associated with the related knowledge on these objects or their relations, and any related actions.

Whatever the functions of indicators, other specific and original attributes were found for those indicators related to a strategic decision level, which account for a large proportion of the indicators mentioned by farmers. These indicators are notably more dynamic: the information collected corresponds to tendencies. By contrast, indicators produced by agronomists are mainly static: data are collected at a specific time to evaluate a result, even if it aggregates a whole dynamic on the growth time of a crop. This was already pointed out concerning the comparative analysis of agroecosystems (Doré et al., 2011), and was discussed by Connolly et al. (2001), for instance, in the case of intercrops: indicators of competition within the species mixture are mainly based on a final result, whereas one might need to consider the dynamic aspect of competition during the growth period to evaluate the actual competitive strength of species and to be able to design appropriate mixtures. The same observation was made by Duru (2013), who mentioned studies of grassland plant composition as a function of management and environment that “portray grasslands statically, and [the fact that] usually stakeholders cannot easily manipulate the management variables or indicators used to predict or describe grassland composition, respectively”. Our observations support the mobilization of indicators which may already be used statically, but with a dynamic approach. This is consistent with what, for instance, Casagrande et al. (2012) proposed in the case of organic wheat production, that is, that the early “weed density dynamic seems to be a good indicator of weed pressure on grain yield”.

3.4 Consistency of the identified indicators with an adaptive management approach

We found that a large proportion of the indicators supported functions related to the adaptation-monitoring of new actions, the effects of which are partly unknown. This is consistent with an adaptive management approach. Originally developed in the field of environment management, the adaptive management paradigm insists on the necessity of monitoring the effects of actions throughout the evolution of the ecosystem (e.g. Clark, 2002). We could not find sufficiently accurate characterizations of the indicators involved in such monitoring to be able to deduce implications concerning the indicators that agronomists would have to produce to equip these types of actions. Nevertheless, several elements corroborate our conclusions. For instance, according to Clark (2002), “adaptive management also encompasses a more process-orientated view of management, whereby a valid aim of management is engagement in a satisfying and satisfactory process rather than just achieving a specific outcome.” This corresponds to the main functions of indicators that we identified, focused more on the necessary management of a process than on the precise results to obtain.

Adaptive management also recognizes the learning purpose of such monitoring (Westgate et al., 2013). We identified functions related to the learning process that occurs through the retrospective analysis of action. Associated with the identification of dynamics in the system and in intermediary states, the indicators corresponding to these functions were either observations made without the capacity to interpret directly (function 19), or identifications of a known necessary state of the system to obtain certain results (function 15). They were also indicators that made it possible to identify bio-physical cause-effect links (function 21) in the biological regulation of the agroecosystem, as well as the resulting interpretation logics of the indicators themselves. Nevertheless, rather than looking for specific, limited attributes of indicators which facilitate learning and reinterpretation, we identified various successive uses of different indicators as learning processes. For instance, the depth of stubble plowing was combined with the dynamic observation of another object, subsequent to the action (following wheat on the same plot) to reinterpret the effect of action. It was also related to the observation of the possibility to apply other practices (e.g. based on the behavior of a machine on the plot).

4 CONCLUSION

In this article we have presented a characterization of functions and attributes of indicators used by farmers engaged in redesigning their cropping systems, and have shown that these indicators do not match those that are classically produced in agronomy. Rather than making proposals to improve the quality and reliability of existing indicators, our results argue strongly for the development of new types of indicators. In fact, we reveal the acute need for indicators that make it possible not only to verify and diagnose the direct effects of new techniques implemented, but also to adapt and monitor the new actions corresponding to these techniques, as well as to understand and reinterpret the functioning of related natural processes, and how the previous and new practices impact them.

Cross-comparing these functions with the attributes of indicators enabled us to identify mismatches between existing indicators, and farmers' uses thereof. We have shown that visual and relative indicators are predominant among those mobilized by farmers through their action. More particularly, we have highlighted the fact that indicators revealing tendencies are specifically relevant to actions within a step-by-step redesign process, and are necessary at a strategic decision level.

Our findings are consistent with the need to develop management support tools dedicated to evaluation and monitoring of the ongoing processes of action rather than strict assessment of precise and quantified sustainability goals achievement. As Duru (2013) noted, "tools can be used during an action to adapt practices that allow indicator thresholds to be met, by monitoring them at appropriate time scales". One might directly associate such tools with agronomic models but our results challenge this choice. In fact the models at the soil-crop-atmosphere interface or at cropping system level seldom include the types of indicators we identified in farmers' action, namely indicators with qualitative references, interpreted in tendencies, or indicators based on objects other than cash crops. It may seem that we argue that the tools Duru (ibid) refers to should be based on an accurate replication of the indicators that we characterized, based on farmers actions. But these are indicators developed by the farmers themselves, for particular and non-reproducible situations. Agronomists should not try to imitate all these indicators, but they should definitely be inspired by the relevant attributes and functions in validating, stabilizing and generalizing new indicators: relative variables with visual references, which are directly related not to a decision rule but to the evolution of system states that may lead farmers to adapt various operations, techniques or strategies.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Région Ile-de-France under a grant from DIM Astréa; and INRA under a grant from the meta-program SMaCH. We thank Liz Libbrecht for language editing the English version of this paper, and are deeply grateful to the editor and the two anonymous reviewers for their help in improving it.

Chapitre III - The use of fundamental knowledge by farmers to re-design their cropping systems: what are the necessary conditions?

Ce chapitre correspond à un article soumis le 4 décembre 2015 à la revue Wageningen Journal of Life Sciences (NJAS).

Le chapitre suivant procède d'une reconnaissance, dans les précédents chapitres, d'un rôle non négligeable de l'exploration de « fonctionnements » au sein des systèmes concernés par l'action. L'apprentissage et les interprétations ne portent pas uniquement sur la viabilité de techniques et leurs conditions d'applications. Ils portent également, et de façon non négligeable, sur les processus biologiques et physico-chimiques que les techniques mettent en scène. Les résultats du Chapitre I montrent ainsi une prédominance, dans les deux premières étapes du changement, des mobilisations de connaissances de la catégorie « raisonnement agronomique », notamment en ce qui concerne les fonctions et mécanismes. Les résultats du Chapitre II montrent, eux, le rôle déterminant des indicateurs dans des fonctions de compréhension et de réinterprétation, notamment pour valider et compléter des relations causales aux niveaux techniques et stratégiques.

Les indicateurs mobilisés ne visent pas seulement à déterminer ou adapter l'action à mener directement dans la situation, à un niveau opérationnel, mais également à réinterpréter les événements et apprendre de la situation. De plus, ils semblent gagner à être reliés à des connaissances renvoyant aux fonctionnements des objets liés à l'action. Par exemple, les discussions lors des visites d'essais systèmes qui ont été analysées montrent bien l'intérêt d'associer les indicateurs (ceux mentionnés par l'expérimentateur) à des connaissances fondamentales sur les processus observés, qui permettent de donner du sens aux observations et réinterpréter l'effet de ses propres pratiques.

Ce sont ces éléments qui vont être développés dans le Chapitre III. J'essaie ici de voir comment se traduit cette nécessaire exploration de « fonctionnement » : elle est différente d'une exploration scientifique qui serait déconnectée d'un projet d'action, mais ne semble ne pas pour autant se réduire à une simple logique d'utilisation. Autrement dit, je vais essayer de comprendre quelles connaissances fondamentales associées à un « fonctionnement », c'est-à-dire à des processus ou mécanismes biologiques, peuvent être mobilisées par les agriculteurs au cours d'une re-conception de leur système de culture. Cela implique à la fois d'analyser ce sur quoi portent ces connaissances, et par quels processus les agriculteurs les relient à leur action et à leur propre système de culture.

Abstract

Re-designing cropping systems to move towards agroecology leads farmers to implement practices which involve biological processes. Such practices have been qualified as knowledge-intensive, as they involve the renewal of agronomic principles and numerous interactions between the systems' components and their regulation. Agronomists have developed an abundance of modelling approaches to address these challenges. However these models, which encapsulate knowledge on systems' functioning, are seldom used by farmers. By contrast, several studies recognize the value of discussing such knowledge with farmers in relation to technical change processes. This paper discusses the necessary coordination of fundamental and generic knowledge on biological processes, situated knowledge which farmers may require to introduce technical change in their own cropping system, and the integrated approach of agroecological processes. We perform an inductive inquiry, in the framework of an iterative and instrumental analysis of case studies. We chose five cases to represent different step-by-step cropping system re-design situations. Through our crosscutting analysis, we specify the fundamental knowledge on biological objects the farmers did mobilize, and identify some of the conditions this necessitates: knowledge needs to be articulated to farmers' actions, and we describe four different patterns of establishment of such connection. It also needs to be reformulated through re-contextualization, which involves three main processes of reinterpretation of individual experiences and identification of the effects of action on the situated biological processes. We conclude by suggesting that farmers alternate between systematic and systemic thinking about the biological processes at play in their situation to gradually build their own model of the functioning of different parts of their cropping system. This has practical implications for agronomists wishing to support such re-design processes.

Keywords: step by step re-design; cropping system; fundamental knowledge; contextualization; action.

Highlights

- We investigate the knowledge mobilized by farmers in the step-by-step re-design of cropping systems.
- The farmers did not use integrated models.
- Fundamental knowledge can be useful for re-designing when articulated to farmers' actions.
- We identify four patterns of links, developed by farmers, between fundamental knowledge and their action.
- Farmers alternate between systematic and systemic thinking to gradually apply new knowledge to their own system.
- Fundamental knowledge is integrated into their model of the functioning of parts of their cropping system.

1 INTRODUCTION

Re-designing cropping systems to move towards agroecology leads farmers to rely increasingly on biological processes and endogenous resources, and far less on external inputs (Altieri, 1999; Biggs et al., 2012; Duru et al., 2014, 2015). This has several implications for the application of agricultural practices. First, farmers might have to implement practices corresponding to new agronomic approaches (such as maintaining a canopy for most of the year to cover the soil, trying to control weeds, limiting leaching and possibly increasing nitrogen fixation in the case of legumes). Thus, they may face situations in which they have little experience to guide their decisions about appropriate action. Second, managing such biological processes is made harder by the variability of their functioning according to environment-specific pedo-climatic conditions, and by the numerous and largely under-explored interactions (for example, maintaining a cover crop may lead to an increase in the slug population). This increases the uncertainty of the targeted effects or leads to unintended impacts. In view of these specificities, some authors have described the related practices as “knowledge-intensive practices” (Ingram, 2008b; Röling & Jiggins, 1994). This stresses the acute need for new knowledge to apply these, particularly because they involve *“the adoption of technology that requires a high level of management skills, with an emphasis on observation, monitoring and judgement”* (Ingram 2008).

Agronomists have developed three main strategies to fulfil this need. First, they have made more intensive use of the knowledge developed by farmers. It has been recognized that farmers rely on both scientific and local knowledge (Clark & Murdoch, 1997; Ingram, 2008b). It has also been shown that both sources of knowledge are necessary for agronomists, either to broaden agronomic knowledge, or to design and assess agro-ecological cropping systems (Altieri & Toledo, 2005; e.g. Doré et al., 2011; Malézieux, 2012; Walker et al., 1999). In particular, there is an emphasis on the tacit knowledge that farmers acquire through acting in their own situation, called “experiential knowledge” (Baars, 2011; Fazey et al., 2006), largely based on know-how. Second, agronomists have carried out experiments with innovative crop systems to quantify the effects of new combinations of practices enhancing biological processes, emphasizing the scope for learning (Chikowo et al., 2009; Coquil et al., 2014; Deytieux et al., 2012). Third, and this is probably the predominant strategy, agronomists have developed integrated and complex models to describe the numerous interactions within a cropping system (Affholder et al., 2010; Constantin et al., 2015; Kollas et al., 2015; e.g. McCown et al., 1996b; Rossing et al., 1997). By gathering the scientific knowledge available on soil-crop mechanisms, these models are designed to support the *ex-ante* evaluation of farming systems not yet applied on farms (e.g. Colbach et al., 2014). The value of these models is thus argued to lie in their capacity to extensively take into account feedback loops and the unintended consequences of actions (such as the quantification of water and nitrogen needs of wheat at spring when sown densely and early, which have consequences on fertilization and potential water stress induced; or the addition of new weed seeds in the soil seed bank when weed plants reach maturity, leading to harmful weed infestations in the following crops, Colbach et al., 2014). With these models, it is also possible to predict long-term trends in the system, such as soil nitrogen and carbon content dynamics under various management practices (Constantin et al.,

2012), which are not easy to measure. The use of such quantitative and integrative models has been argued to provide helpful support to change practices (Hochman et al., 2000; e.g. Sterk et al., 2009). However, many authors have shown that models were of little help for designing new practices, as summarized by Prost et al. (2012). Moreover, the interactions between crops and practices that models simulate mostly concern the amounts of abiotic growing factors (e.g. water, nitrogen). Models rarely take into account biotic processes, while these strongly impact low-input systems (e.g. those linked to diseases, pests, soil biological activity). As a result, these integrated models lack contextualization variables to be used successfully to design locally-adapted crop systems.

These limitations of models highlight the issue of the use of scientific knowledge to re-design situations: how can farmers mobilize general scientific knowledge in a situated action process contending with systemic interactions between biological processes? The effectiveness of knowledge-sharing between agronomists and farmers has been shown to vary, based on agronomists' behaviour and social skills (Fazey et al., 2014; Ingram, 2008b; Reed et al., 2014). Yet, as these studies focus on social dynamics and actors' behaviours, they provide little information on the actual content of the exchanges. Furthermore, the hybridization of scientific and local knowledge is sometimes considered difficult and partly impossible because of their differing aims regarding agrosystems: farmers' objective is to manage ecosystems (for a crop or practice to yield satisfying results in a farmer's situation), and scientists' aim is to understand them (i.e. they need to know why and how something works) (e.g. Farrington & Martin, 1988; Ingram et al., 2010). Based on these distinct aims, scientists have developed numerous decision support systems, as means to transfer their knowledge to farmers, with the aim of helping farmers make the right choices of practices based on their constraints. In so doing, scientists consider that farmers do not need to understand the functioning of their agrosystem to manage it and they encapsulate scientific knowledge in a usable tool. However, re-designing a cropping system does not just mean managing it, and the validity of this assumption in the context of agroecological transition is questionable: farmers do not work with a given stable system; they gradually transform an agroecosystem while acting on productive resources, removing, adding or modifying some of its components. Furthermore, in some cases action research has highlighted that farmers can become interested in very fundamental approaches to some parts of the system. For instance, Jordan *et al.* (2000) mentioned the use of biological knowledge on weed species as an important event in a change process.

Consequently, when the re-design of a cropping system involves biological processes, this requires a combination of scientific general knowledge on the corresponding system, the situated knowledge farmers acquire or develop, and an integrated approach to the cropping systems. The core focus of this article relates to this combination: how do farmers re-designing their cropping system mobilize general scientific knowledge in their particular situation? How is this knowledge contextualized? What do such processes tell agronomists seeking to provide relevant resources for re-designing cropping systems? We answer these questions by examining various cropping system re-design situations through an inductive case-study analysis. All these situations share the common feature of mobilizing specific scientific knowledge. In the next section, we briefly present the

methods we used in the different cases for data collection. We then describe the five case studies. In the results section, we present four crosscutting findings.

2 METHOD

We selected five situations of technical change in *step-by-step* re-design processes, as characterized by Meynard *et al.* (2012). *Step-by-step* re-design is characterized by an initial diagnosis of the practices and state of the system, followed by a range of techniques being proposed, chosen, implemented, monitored and adapted, resulting in the system experiencing new states, as well as leading to the assessment of various performances in order to start a new design loop. The five case studies concerned the implementation of new agroecological practices, as described in Wezel *et al.* (2014), following various goals (Table 16): implementing integrated crop management to reduce pesticide use (Cases 2 and 5), diversifying the cultural strategies to reduce weed pressure along the crop sequence (Case 1), and changing soil tillage to improve the soil structure and fertility (Cases 3 and 4).

We investigated these cases through a combination of active and passive participation. The timescales that the data we collected in our case studies concerned varied from one day meetings to 5-7 year projects with regular experiments and meetings (Table 16). The number of people concerned by each case and their professions also varied from one individual farmer to a group involving several farmers, advisors and facilitators (Table 16). On the one hand, we observed (Cases 1 and 2) or interviewed (Case 5) groups of farmers in different situations considered as important stages in the *step-by-step* design process (Meynard, 2015; Reau *et al.*, 2012): a system experiment visit, and a one-day design workshop (Table 16). On the other hand, we carried out individual semi-structured interviews with farmers, either participating in a development group (Case 5), or not (Cases 3 and 4). These interviews were organized in the same way. We first identified the main problems at stake after a quick description of the farming system, and identified the main technical changes performed. We then focused on the implementation of one specific technical change, and asked the farmer about the information sources mobilized, the successive actions he implemented, the observations he made, and finally the changes he made and kept. Finally, we opened the interview to other technical changes or aspects of his cropping system.

Our inquiry was largely inductive, as we did not base our analysis on a specific hypothesis concerning the way farmers may mobilize scientific knowledge. We made an instrumental use of the cases (David, 2003; Stake, 1994): in each case, we particularly observed the moments when scientific and fundamental knowledge was mobilized. Based on the identification of this knowledge, we tracked its transformation and its use until the implementation or design of a new practice. In each case, we used full transcripts of the interviews or meetings. We identified key elements in the chronology of the event, and focused on some sticking points and steps or events through which these were overcome. We then identified the knowledge shared and used by farmers in each of these steps, with a specific focus on the knowledge that made it possible to continue with the different technical changes and therefore unlock the re-design processes. Finally, we compared the

different cases in order to highlight common patterns involving the following main processes: how specific knowledge is asserted and discussed; how generic knowledge is used in a specific context or, conversely, how localized experiences are discussed and shared in general terms; and how it allows the farmers to choose new practices or strategies they intend to implement. The comparative analysis allowed us to identify five common findings which may help agronomists to recognize or generate knowledge mobilization processes.

3 CASE STUDIES

Table 16 : Presentation of the case-studies.

Case studies	number of farmers and advisors	location	farming systems: main productions	situation	time scale of the story
1 Organic farmers meeting about perennial weed management techniques	~10 farmers 3 animators 3 advisors 2 technicians	Picardie (North of France)	arable crops and legumes	discussions in a room (project led by a R&D organization)	One-day meeting (at the start of a 3-year project)
2 System trial visit with a group of farmers evolving towards decreased pesticide use	~10 farmers 1 technician 1 advisor 2 scientists	Ile de France (Center of France)	arable crops	presentation of current fields states and tested systems discussion on fields direct observation	half-day visit
3 A farmer's implementation of stubble plowing	1 farmer	Picardie (North of France)	arable crops	individual semi-structured interview in office	A part of a 3-hour interview
4 A farmer's implementation of a no-till system	1 farmer	Pays de la Loire (West of France)	arable crops flower seeds	individual semi-structured interview in office	A part of a 3-hour interview
5 Co-development of weed management strategies in integrated cropping systems	8 farmers 1 animators 3 advisors	Picardie (North of France)	arable crops (2 had livestock)	3-year project with multiple meetings every year, visits to experimental fields, presentations by scientists	full project analysis (interviews, document analysis)

The column "situation" refers to the type of interactions which were actually applied or observed to collect data. The column "time scale of the story" refers to the actual temporal spreading of the data collected.

3.1 Organic farmers meeting about perennial weed control

The meeting focused on the management of perennial weeds, particularly thistle, identified as a common problematic species on the group's farms. It started with a presentation by a facilitator on

biological and physiological aspects of thistle, drawing on scientific papers, agronomic press, and expert knowledge from experimenters (Table 17, line 2). During this presentation, although the techniques were not mentioned on the slides, farmers' comments directly linked the information given with possible changes in their actions. The same facilitator then presented two curative strategies: exhaustion and extraction (Table 17, line 2). The size of root fragments to support each strategy differs (long for extraction, and short for exhaustion) based on the soil management tools used. The results from different experiments comparing various soil tillage tools quickly prompted discussions about organizational feasibility (workload, equipment, energy use), but did not lead to the emergence of new management strategies. After this first part of the meeting, farmers discussed their own experiences, but without reaching a shared conclusion, mostly underlining the specificities of situations (e.g. the possibility of having long dry periods for an efficient extraction strategy; density and age of thistle's spots). In the afternoon, the farmers were asked to each make propositions for a specific case. They started with opposing points of view, without consensus on the results of the techniques proposed (competitive effect of alfalfa or a lentil-triticale mixture; the use of specific machines adapted from other farmers' experiences, e.g. the "Wenz method"). A real strategy began to emerge only when the discussion returned to the key aspect of the dynamics of thistle's "reserves". The effect of practices (mowing, false seed bed) on this dynamic was discussed, which involved re-specifying the key moments of the dynamics, and the detailed processes of the constitution of reserves (minimum at harvest? At the end of summer? Reserves increase when a plant grows or when flowers are cut). The participants identified a specific indicator of plant development stages which was directly linked to the reserves' dynamics: the 6-8 leaves stage. Prior to this, the plant's reserves decrease, whereas after they increase again. Only then were two different practice strategies to test proposed (Table 17, line 5).

3.2 System experiment visit with a group of farmers

During a visit to a cropping system trial, the main experimenter presented the different cropping systems implemented and their re-design objectives. One of the variables measured in the trial, which the farmers asked the most about, was the amount and diversity of worms. The farmers commented that the simple fact of assessing the presence of worms was of value, but that they could not relate it to their practices. The measurements in the trial showed long-term trends that the experimenter linked to the past management of the plots (e.g. a plot with a historical background involving no ploughing practices differed from others). Repeated soil tillage with tine or disc tools which negatively affected worm populations was also discussed. Surprisingly, the farmers' discussions mainly focused on the main families of worm species, as well as their main life traits, about which they asked the experimenter for further details. They related the classical movements of the different species within soil to the effect of their different tools for soil tillage (Table 17, line 5). However they lacked more specific knowledge about the dynamics of development and regeneration at population level to anticipate the consequences of their actions on a scale of several years. One farmer enriched the discussion with observations from his own farm: an apparent increase in the worm population was noted, whereas he mentioned very few changes in his practices. The other

farmers led him to specify that stubble ploughing was much less frequent, validating the established link between this action and the development of certain species.

3.3 A farmer's implementation of stubble ploughing and cover crops in a minimum-tillage system

This farmer participated in an eight-year project with a R&D organization to develop integrated crop management using less pesticide. At the same time, he changed his cropping system by removing all ploughing practices. At first, his knowledge about the techniques associated with no-ploughing strategies was restricted to the types of machines one can use, and the problems encountered which lead to removing ploughing (e.g. the energy cost of ploughing, hydromorphic soils). Rapidly, he had to use more pesticides. In order to continue not to plough while decreasing herbicide use, he tried to adapt the techniques used for soil preparation and covering between crops. He implemented stubble ploughing after crop harvests to bury crop residues and manage weeds. However this had varying effects and the following wheat crop showed a weaker growth dynamic. He obtained various references by comparing the number and date of applications with colleagues, but this still did not give him guidance for the specific adjustment of the practice. He began to resolve this issue when a scientist studying carabid species presented basic elements on carabids' biology, and namely the depth of soil at which they reproduce. He deduced that soil tilling deeper than 10 cm prevented the development of a carabid population by disrupting its habitat, thus favouring the growth of slug populations. With the help of an expert from a technical institute, he then confirmed that 10cm was a sufficient depth to grow beetroots: he considered other possible actions in his own situation, handling interactions with other practices (i.e. the presence of beetroot crops in the succession). He analysed and reinterpreted the results concerning the false seed bed action of the machine with colleagues, comparing their respective experiences to confirm some of the technique's effects.

3.4 A farmer's implementation of a minimum-tillage cropping system

In 1998, this farmer started to look for strategies to reduce his workload. He also struggled with soil humidity in some fields. Convinced by an article based on a farmer's experience that presented the effect of no-ploughing strategies on the soil's bearing capacity (Table 17, line 1), he started to apply simplified cultural techniques in one difficult field (i.e. too wet in the spring). After seven years of not ploughing the plot he started to notice the expected improvements in soil bearing capacity, but a company harvesting the hemp on the plot entered after a 50mm rainfall, which resulted in a compacted soil structure and caused him to plough again this year. He then joined an association dedicated to no ploughing and took part in various visits and training courses. Describing these, he mainly emphasized two starting points for his renewed agronomic reasoning. First, he stressed the determining role of knowledge about soil biology (Table 17, line 2). This led him to change his own view of the soil, seeing it as a compartment of the system which fulfils nutrition functions, and not only as a physical support, and reformulating his knowledge on the role of bacteria in transforming and supplying nutrients. He associated the soil's nutrition ability with indicators (e.g. clod toughness, the depth of roots' soil exploration, humus content). Second, the specialist specified that the

diversity of bacteria populations is linked to the diversity of plants growing in the soil. He applied this knowledge to his situation (crop diversity, rooting depth), and decided to introduce a pea crop, and to diversify the species used as cover-crops. Bacterial activity was also central to the concept that guided the way he simplified the functioning of the interactions between plants and the soil and therefore between different practices, i.e. the *continuity* of soil bacterial activity across cash crops by sowing cover crops mixtures: *“Well I keep the continuity of the main crop if you will, and apply it to the other crop.”*

3.5 Co-development of weed management strategies in low-input cropping systems

After the first five years of an R&D project dedicated to the reduction of pesticide use, fungicide and insecticide uses had reduced greatly (see Mischler et al., 2009), but the use of herbicides had not. The project therefore began to focus on weed control, which differed from diseases in terms of the timescales that needed to be taken into account. The project actors first visited a long-term system experiment (Chikowo et al., 2009) dedicated to decreasing herbicide use. They found the results presented unconvincing, due to the poor economic results of the systems tested, and according to them, these offered no clues as to possible technical changes to implement. Among the various techniques tested in this experiment, they nevertheless identified mechanical weeding as a possible weed control technique that they had not yet explored. For instance, chain harrows were tested on barley. The results varied widely from one situation to another: on chalky soils, they slowed down the cereal’s growth and allowed weeds to grow back even more than before the harrowing, whereas in loamy soils, it favoured the barley’s growth, with satisfying weeding results. An agronomist who had participated in designing the cropping systems tested then presented different elements of the knowledge underlying his work: the annual rate of decline, the emergence time, and the germination depth of the main weed species. Once they started to mobilize these aspects, they were better able to anticipate the results of specific actions such as applying false seed beds, or various frequencies of soil tillage, and could modulate them to be more efficient. As all the farmers involved used different techniques, the meetings were an opportunity for them to share their experiences, basing their interpretations on weed biology. For instance, they shared experiences about goosefoot infestation, and compared their weed pressure according to the ploughing frequency, which was linked to the annual decay rate: they advised each other not to plough after a high infestation rate because of the longevity of the seeds buried. A farmer decided to introduce a new sunflower crop, basing his reasoning on his most problematic weeds’ time of emergence, which differs from that of sunflowers (Table 17, line 5).

Table 17: Case-studies specificities according to the knowledge and experiences exchanges, the agronomic problematics, the technical strategies built.

Case studies			
	Organic farmers meeting about perennial weeds control	System experiment visit with a group of farmers decreasing their pesticides use	
1	The initial problem	controlling perennial weeds without herbicide	Willingness to reduce the pesticides use
2	The knowledge claimed, discussed, proposed for debate	<p>The redefinition of perennial weeds (“<i>possess specific organs that allow self-multiplication and store reserves</i>”);</p> <p>the description of vegetative propagation mechanisms (“<i>Thistle buds are on a root that is horizontal, and it produces shoots called suckers</i>”);</p> <p>the rooting depths and suckers’ dormancy (broken down when the root is cut in pieces);</p> <p>the soil factors favoring thistle;</p> <p>the life cycle and rates of reproduction by seeds and particularly the dynamic of thistle’s reserves during the year and according to plant development stages and climate.</p> <p>2 curative strategies: exhaustion (“<i>repeated destruction of aerial parts forcing the thistle to regrow or by a fragmentation of roots that bring out dormant buds and generates new shoots</i>”) and extraction (“<i>fragment the rhizomes, pull them out of the ground and then export them or let them dry</i>”).</p>	<p>Description of the present crops and their management;</p> <p>brief statement of the previous crops and practices.</p> <p>One farmer brought into discussion the main families of worm species: differentiating the epigeal, endogean, and anecic species</p> <p>A biological description of worms’ reproduction cycle main life traits</p>
3	The people at the origin of knowledge	An animator presented knowledge gathered from scientific papers, agronomic press, and expert knowledge from experimenters	<p>The experimenter (description of crops and practices, depth and dates of aphanomyces establishment)</p> <p>The farmers (worms biological aspects)</p>
4	The personal experiences brought to discussion		One farmer: on his own farm, an increase in worms’ population. Other farmers led him to identify the link with the reduced stubble plowing frequency.
5	The action strategies finally proposed	<p>i) with a cover crop mixture sown just after the harvest and without plowing, and a plowing destruction at dawn, when thistle would have reached the 6-8 leaves stage;</p> <p>ii) with alfalfa introduction, either undersown in the cereal or sown after harvest, adapting the cutting frequency to the thistle regrowth, identified according to the 6-8 leaves stage indicator.</p>	The classical movements of the different species within soil were compared, to identify the ‘normal’ position and namely depth of worms into the soil, with a view to establish the link with the effect of their different tools for soil tillage, as much according to the depth and type of teeth or discs, as to the time at which they apply it.

Table 17 : (continued)

Case studies				
		A farmer's implementation of stubble plowing, cover crops, in a minimum-tillage system	A farmer's implementation of minimum tillage cropping system	Co-development of weed management strategies in low-input cropping systems
1	The initial problem	Implementing non-plowing strategies consistently with other practices on the farm: stubble plowing was introduced to prevent from deep tillage while reducing pesticides use, but not well managed	The need to decrease the workload, and a soil humidity leading to compaction (i.e. impact of machines on soil structure at spring because of water content). Implementation of no-till system.	During a R&D project, herbicides were still used in high amount. They targetted weeds management at multi-years scale through the adaptation of the crop sequence
2	The knowledge claimed, discussed, proposed for debate	Carabid species and basic biological elements: depth at which they live and reproduce, populations they impact on. Cover crop species characteristics (which is still in progress): 200 species description in terms of nutrient uptake and release, growth dynamic and competitive capacities.	Soil biology: basics of soil macro and micro organisms, the bacteria diversity and their main functions, roots development dynamic and interactions with bacteria populations. He also developed a disease recognition skill: cycles of development spreading mechanisms <i>"Well I know how to recognize it, I know the time it takes to jump from leaves to leaves. If it is explosive according to the weather, if you can wait"</i> .	Weeds biological properties and life traits: annual rate of decline, emergence time, germination depth.
3	The people at the origin of knowledge	A carabids specialist technical institute for crop techniques confirmation A scientific study from Brasil	A "specialist" from an Agronomy University (soil biology) The Chambre d'Agriculture (diseases)	A scientist interested in weeds management from a research institute
4	The personal experiences brought to discussion	The different applications of stubble plowing within the group were compared (depth, results in terms of weeds germination)	An article based on a testimony by a farmer encountering the same troubles, and who experienced a and namely a «foam effect after a few years».	
5	The action strategies finally proposed	The farmer eventually build his soil tillage strategy under the constrain of a 10cm depth limit. He adapted and reinterpreted the stubble plowing action from this basis.	He reflected the crop sequence and cover crop species selection from the effect of crops diversity on soil biological diversity.	Plowing frequencies were adapted to the seeds longevity in soil, according to the main weed species A farmer introduced sunflower in his crop sequence

4 CROSSCUTTING ANALYSIS: CONDITIONS FOR THE MOBILIZATION OF FUNDAMENTAL KNOWLEDGE AND THE PROCESS OF SYSTEMIC CONTEXTUALIZATION

(Dans cette section, on pourra se reporter à l' Annexe 5 -pour davantage d'exemples issus des cas d'étude. Le tableau étant trop volumineux, il ne sera pas directement intégré à l'article soumis)

Through the cross-comparison of the case studies looking at the various forms of knowledge mobilization involved, we identified four main common results, closely interconnected. The order in which we present them makes it possible to gradually understand how specific elements of generic knowledge can be linked to a particular cropping system.

4.1 Focused, partial, fundamental, often qualitative knowledge is used and may unlock situations of change

The comparison of our case studies shows that the knowledge which appeared useful for unlocking processes of change was very specific, rather than involving the whole system in an integrated way. In fact, whereas the problems the farmers faced were highly systemic (Table 17, line 1), the knowledge that allowed them to move forward in the technical changes was very fragmentary and selective. In all cases, the knowledge concerned only some components of a system (Table 17) and mainly the biology and dynamics of biological objects: particular species (thistle in Case 1; cover-crop species in Case 3; various weed species in Case 6), groups of species (worms in Case 2; carabids in Case 3), or larger groups of micro- or macro-organisms occupying the same ecological niche (soil bacterial populations in Case 4). Biological objects are to be opposed to technical objects such as physicochemical objects (the water or nitrogen pools and fluxes within the soil) or machines. These biological objects are generally not directly and intentionally manipulated by the farmers, but they are always involved in natural processes that might interact with cash crops' growth and productivity. Also, they can be influenced by the farmers via cultural practices. Furthermore, the knowledge used was *fundamental*, describing a biological or physiological process (such as the dynamics of thistle reserves' accumulation and depletion throughout the year, or the cycle of development of a plant disease, Table 17, line 2). This fundamental knowledge is to be opposed to more operational knowledge, for example the effectiveness of different soil tillage tools to decrease the thistle population. It concerned neither systemic interactions nor regulation. The analytical fundamental knowledge we identified was thus mostly qualitative.

In several case studies, this particular knowledge was proposed by a *specialist*. This was expressly mentioned in Case 3 concerning the carabid species' biology (an entomologist specialized in carabid species), but also in Case 4 (an agronomist specialized in rhizosphere studies), and in Case 6 around weed species' life traits (a weed researcher). These *specialists* belonged either to research institutes or to national technical institutes. The legitimacy of such actors in the eyes of the farmers lays in their ability to bring together a host of bits and pieces of knowledge that may also be available from other sources (websites for example) but were never organized in a synthetic form.

Whereas a large proportion of studies on knowledge exchange between scientists and practitioners discuss the relevance, accessibility and legitimacy of knowledge (Reed et al., 2014), our

analysis focuses on the knowledge content. Although we do not deny the importance of the social aspects of knowledge sharing, we suggest that these might be conditioned by the technical aspects of the knowledge. Furthermore, we stress the fact that this focus on specific aspects of the knowledge mobilized, which is fragmented and concerns biological objects, highlighted differences compared to what most crop simulation models showed. The prevalence of partial knowledge on a limited part of the system components might seem contradictory with the necessity to anticipate the systemic feedback effects and unintended consequences of actions. However, in the following sections we show how such knowledge may gradually be related to a particular cropping system.

4.2 Farmers use the knowledge they can link to their own action

The cross-comparison of our cases highlights that the knowledge mobilized was that which farmers could use to steer their own actions. In fact, among all the functional aspects of the biological objects that farmers might manipulate, they considered as useful those for which they could establish a relationship between their actions (already implemented or potential) and the response of the objects. Through our cross-cutting analysis we identified four different types of relationships or patterns as described below.

First pattern: knowledge about a biological object can relate to an action that farmers already performed and manage, the effect of which is also partly known by the farmer. To understand the effects on the new object of an action already performed, further knowledge on this object is required (Figure 6, Pattern 1). For instance, in Case 1, farmers asked for specific details about the depth at which root regrowth mechanisms occur, to be able to relate this to the depth of their soil ploughing. This gave them a better understanding of the various effects of actions on roots' biology and physiology. In Case 4, knowledge about the depth of roots' soil exploration was related to the no-ploughing strategy, along with knowledge about roots' exploration dynamics and the possible causes of rooting reduction, to understand soil profiles and compaction. This pattern can be considered as a first step towards *situating* knowledge: farmers try to identify the conditions of action in which the effects targeted will be obtained or not, depending on the knowledge acquired on the biological object.

Second pattern: farmers can use fundamental knowledge on biological objects when it allows them to anticipate the effect of a new action that they have never performed (Figure 6, Pattern 2). In Case 1, for instance, they asked for knowledge on thistle roots' biology in connection with the different tools used for soil tillage. In fact, since only specific parts of the roots can regrow after being cut, they tried to select the appropriate tool for soil tillage based on the depth and width of scalping. In Case 3, the farmer built a new complete soil management strategy starting with the constraint of a 5 to 10 cm depth limit for soil tillage, so as to keep the disruption of carabids to a minimum and thus reduce the occurrence of slug attacks.

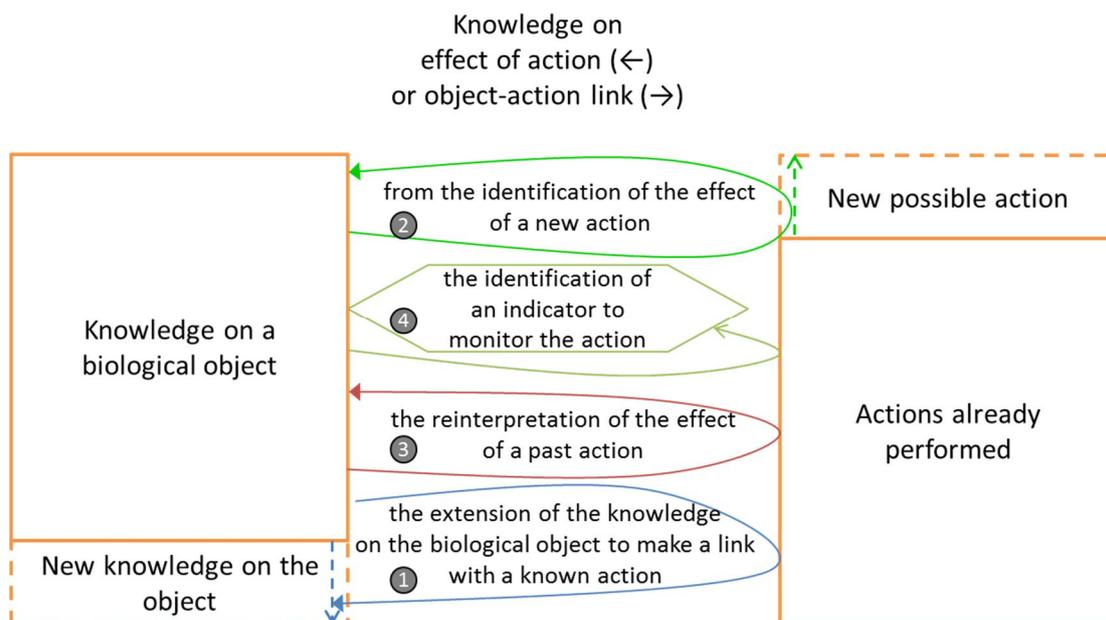


Figure 6: The different ways knowledge was linked to action. (The numbers in grey circles correspond to the four patterns described in the text).

Third pattern: fundamental knowledge can be used to reinterpret previously observed effects or consequences of an action (Figure 6, Pattern 3). In Case 1, the 5% spread of thistle through seeds explained the low effectiveness of topping. Farmers also associated past observations of thistle pressure increase within fields after repeated cutting and mechanical weeding with the regrowth mechanism of suckers remaining on short pieces of roots, which may result from these cultural practices. The dynamics of thistle roots' reserves also offered a greater understanding of a known adverse effect of alfalfa on the weed: *"Then a thistle in alfalfa grows too. It rises more, it produces more vegetative material so it draws more from its reserves"* (farmer).

Fourth pattern: fundamental knowledge can guide action by enabling farmers to identify an indicator to monitor their action (Figure 6, Pattern 4). In Case 1, the thistle's development stage of 6-8 leaves, stage at which the plant's reserves are at their lowest, was identified as an indicator for triggering the cutting, so as to efficiently weaken the weed. In Case 4, the basics of soil biology were directly related to the possible observations that farmers might use to anticipate potential biological activity in their soil, or the dynamics of disease spread, and to trigger management actions.

These four different patterns of relationships between fundamental knowledge and the farmer's action highlight a necessary condition: it must be possible to tackle the bio-physical phenomenon with a delimited and identified action that a farmer may perform. Fundamental knowledge thus related to mechanisms or biological processes on scales that farmers could address directly through delimited actions. For instance, the examples provided above referred to actions which were specific elements within crop management programs.

These patterns also suggest particularities in the mobilization of knowledge to design new actions in a cropping system. They highlight the fact that farmers gradually organize knowledge on the

functioning of limited parts of the system, and do not embrace the whole system at once. This contrasts with the assumption that, in order to take into account all systemic interactions, one should formalize the functioning of the whole system (i.e. draw connections between numerous actions with combined but inseparable effects), which is at the core of the modelling strategy (e.g. McCown et al., 1996b). Considering the functioning of a limited part of the system makes it possible to relate it to specific actions, while the assessment of a global functioning would relate to integrated actions (e.g. a complete crop management itinerary), involving a whole set of causal relations that one may not be able to grasp. In that sense, our findings converge with those of previous ergonomic studies (Amalberti, 1992; Cerf, 1996), which suggest that actors tackle anticipated events and plans based on a known set of actions, that is, that knowledge on the systems' processes is organized according to known action. Nevertheless, these studies considered situations where usual actions were to be applied. In our case, the design of a technical change may explain that we observed such organization of knowledge in both directions: new knowledge also led to the organization of new actions. Building an understanding of the functioning of parts of the system results in iterative loops between knowledge on the biological components and action. However, this continuous iterative process does not fully explain the decontextualization and contextualization processes necessary in order to relate knowledge to a particular cropping system, which we explore in the following sections.

4.3 Fundamental knowledge supports the reformulation of individual experiences and makes them useful to others

Farmers readily shared their own experiences. However, these were mainly situated experiences, not easily extrapolated. In this section, we show that comparing individual experiences with fundamental knowledge allowed for some reinterpretations, which made these experiences useful to others. In our case studies, we observed that simple experience sharing could rapidly lead to various explanations depending on the situation. Most of the time, local specificities were invoked as the sole cause of these differences, preventing further extrapolation, and more particularly interpretation and learning from others' experiences. Conversely, when a specific bio-physical phenomenon was used to reinterpret the various experiences, the results were not just used to deduce whether or not a technique "worked", but mostly to validate the farmer's existing knowledge specific to his situation. Personal experiences, when related to a specific bio-physical phenomenon, also provide an illustration of fundamental knowledge on this phenomenon, even if the variability of the results they show is not fully explained. In that sense, there is both a reinterpretation of these experiences taking into account the new understanding afforded by the fundamental knowledge, and a reformulation of this knowledge through existing experiences. Cross-comparing the different experiences allowed farmers to gradually confirm a particular aspect of the functioning of the system, based on fundamental knowledge. In other words, decontextualized knowledge can be developed from contextualized experiences, which may be used to design practices in new situations. Moreover, when fundamental knowledge is confirmed, the slight differences in results or observations in various experiences may call for further specification. In Case 1, the farmers successively shared their own experiences with different thistle management strategies, discussing

the results, but struggling to find a common conclusion on the effects of different techniques because of the variability in soil structure and management practices, weed pressure intensity, crop sequences, and the climate. However, when one of them related each practice and result to the dynamics of thistle's reserves, they found consistency in these results and deduced the possible management techniques to be applied to the situation discussed. Concerning the need to further specify the knowledge identified through experience sharing, in Case 1, these comparisons allowed farmers to reconsider the significance of their observations (thistle regrowth becomes a positive process because it signals a decrease in its reserves), but also highlighted the need to be more accurate in the description of reserve dynamics during the discussion. Furthermore, future actions planned to compare mowing and scalping effects in an exhaustion strategy were also geared towards specifying the exact type and intensity of cutting that induces the greatest regrowth.

The reformulation of individual experiences we described in this section relates to Pattern 3 presented earlier. Also, whereas this pattern related to individual action (and was described as a process that each farmer may apply individually), this analysis of experience sharing introduces a collective dimension. The collective reformulation of individual experiences therefore corresponds to the growth of Pattern 3. Furthermore, it is worth emphasizing here the distinction we make between experience and action. Whereas action is mentally delimited in Pattern 3, experience tacitly encompasses the unintended effects and consequences of the conceptualized action. In that sense, it includes the share of unknown surrounding the implementation of action in a particular situation.

This translation of personal experiences into useful references for re-design relates to what Stake (1994) called "vicarious experience", a contextualized form of experience called into memory as "vignettes" which cannot be reduced to findings, but only be told. Sharing previous observations and results allows a collective to perform "narrative sensemaking" (McCown et al., 2012), which produces a combination of "if ...then" rules of action, as well as an understanding of the partial system functioning underpinning these rules. This finding from our case studies is also in line with what Pålshaugen (2004) called "practical discourses" containing "public interpretations of personal experiences".

4.4 farmers apply three main processes to link generic knowledge to their own system.

The previous analyses focused on the conditions for fundamental knowledge to be used, which involved specifying the nature of this knowledge, and the different ways it is articulated in action. We now propose an analysis of the way it is mobilized in the particular situation faced by the farmer. We identified three different processes participating in the reformulation of new knowledge, which the farmers applied in order to gradually form an understanding of a part of their cropping system. These processes can be summed up as (Figure 7): 1) non-situated knowledge on generic aspects of the biological objects is tailored in order to situate a biological process/phenomenon in a given environment; 2) the situated biological phenomenon is related to the effects of actions which impact it; 3) other practices that can have the same effects on the phenomenon are considered. Although

continuity between these processes may appear, they were rarely observed in the corresponding full sequence in our case studies. We further describe each process below.

First, the non-situated knowledge concerns the biological objects, and is thus independent from the environment in which such objects are or would be manipulated (Table 17, line 2). These are stable features of the objects. They may vary in intensity or accurate values in different environments, but the trend of interest for the farmer's interpretation remains the same (e.g. the thistle increases root reserves in summer, which is true in various environments, although the rate of accumulation and quantities may vary according to the climate and soil nutrient contents). Hence, farmers try to complement this knowledge with the influence of the environment (climatic and biotic context), so as to situate the phenomenon involving the biological objects. Relations with a specific environment were for instance specified in terms of modulated dates at which a phenomenon may occur that take in account the local climate (Case 1: 15 October is a situating element), or the presence of specific species such as wild oats and foxtail pressure in the targeted situations in Case 5.

Second, farmers related the situated biological process to the effects of their own actions. This allowed them to validate, confirm or specify the direct and indirect results of specific practices, and involved the various patterns presented in Section 4.2. Sensemaking in this process appeared to focus on the distinction between the description of a biological process in the environment occurring without direct human intervention and the part of the process induced by human intervention. In Case 1, a farmer asked *“you say that there is only 3 to 5% of thistle plants which come from seeds, but it is because we avoid flowering? or is this the case even in a wild system?”* This second process also materialized in Case 1 when farmers tried to re-draw the curve representing the amount of thistle root reserves throughout the year when different cuttings were performed. Interestingly, Walker and Sinclair (1998), who proposed a method to elicit and formalize local qualitative knowledge, emphasized the relevance of distinguishing the objects, processes and actions in order to establish the causal links between them. They stated that the *“distinction between natural processes and human intervention was found to improve knowledge elicitation”*.

Third, the specified influence of human action on the biological phenomenon was used as a base to broaden the range of practices that may have the same effect. This led to identifying other actions impacting the same situated phenomenon (in Case 4, the interactions between cover crops and diversified crop sequences was expressed by the farmer in terms of the impact on soil bacteria diversity), to specifying the quality or intensity of the relationship between an action and a situated mechanism, or to identifying other mechanisms of interest (Case 1: the cover-crops preventing soil tillage led to considering whether repeated topping would also deplete thistle reserves, and to tackling another mechanism – the effect of competition for light between thistle and cover-crop species on the accumulation of roots' reserves).

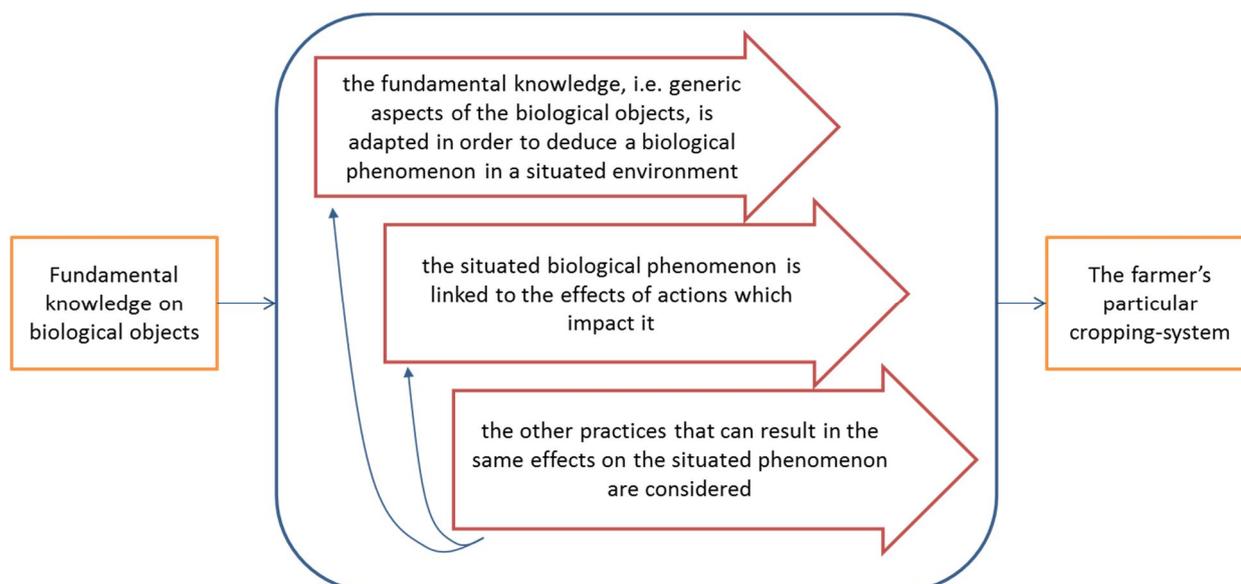


Figure 7: The three processes (large red arrows) applied by farmers in order to gradually link fundamental knowledge to their particular cropping system.

In contrast with Section 4.3, which showed how particular and situated experiences were used to bring out decontextualized causal relations within the cropping systems, the description of these three processes addresses the way farmers contextualize very generic knowledge on non-situated biological objects. The contextualization we analysed does not amount to simply validating the knowledge discussed in a particular situation based on various contextual elements, which would correspond to a single-step decision to mobilize knowledge in action in this situation. Rather, it involves a gradual transformation and reformulation of this knowledge, in order to build situated meaning for action, that is, to construct its meaning for a particular cropping system. By distinguishing between the different elementary processes which appeared necessary for such contextualization, we were able to unravel how specific fundamental knowledge may give farmers a “*hold on reality*” (Mormont, 2007). However, as it represents a farmer’s point of view, it does not correspond to a broad definition of the contextualization of scientific knowledge, as defined by (Sterk et al., 2009).

4.5 The gradual linking of fundamental knowledge to interacting practices in the cropping system forms a systemic understanding

Findings from our case studies suggest that, in order to think about action within a system, farmers may not directly consider the whole set of components and interactions that constitute the system all at once, as an integrated model would seek to do. Rather, they successively and consistently compile different aspects of the functioning of limited parts of the system. This involves decontextualization (Section 4.3) and contextualization (Section 4.4) processes, combined with gradually linking new fundamental knowledge to their particular cropping systems. This might be considered as the process whereby farmers constitute what Ingram *et al.* (2010) call farmers’ “broad

view” (specifying that “*farmers have an overview over the properties of their land and an impression of the state of the soil and their crops*”), as opposed to scientists’ “deep view” (as they “*gain deep insight into their topic by neglecting the broader production-related connections made by farmers*”). However, we argue that farmers do benefit from insight into the functioning of the biological objects that their actions may impact.

The four patterns followed to link knowledge on biological objects to farmers’ action (described in Section 4.2) showed that farmers develop knowledge, in a joint and iterative way, on the biological objects involved in their cropping system, and on the actions which are part of this system (Figure 6). This leads to the situated development of an understanding of the functioning of a part of the cropping system which includes action. In that sense, the contextualization of fundamental knowledge on biological objects that impact crop growth or the state of production resources corresponds to systemic thinking. Ison (2008) distinguished between “*systematic thinking*”, i.e. “*thinking which is connected with parts of a whole but in a linear, step-by-step manner*”, and “*systemic thinking*”, i.e. “*the understanding of a phenomenon within the context of a larger whole; to understand things systemically literally means to put them into a context, to establish the nature of their relationships*”. The findings from our case studies suggest that farmers alternate between both systematic and systemic thinking: it is systematic through the mobilization of knowledge on isolated biological objects and the natural processes they relate to, but the comparison with action and previous experiences gradually leads to addressing emerging effects and interactions between various practices which may cause unintended effects. The move from systematic to systemic thinking is operated by action (Figure 8). This is worth noting as it mitigates the claim that “*the primary prerequisites for the sound design of managed ecosystems are a profound and comprehensive understanding of their components and the relationships between them, and of the ecological processes that occur within natural and managed ecosystems.*” (Hill, 2014). In fact, we suggest that while such a comprehensive approach is required, design occurs throughout the process of understanding, which contrasts with the hypothesis that a preliminary understanding of the whole system’s components and interactions is a prerequisite for action.

Furthermore, this link gradually established between generic knowledge and systemic thinking meets the requirements of action in a particular situation. As Pålshaugen (2004) suggested, “*for some ‘piece’ or ‘body’ of knowledge to work outside the context of its creation, it had to be reconstructed in the new, local context*”. The knowledge mobilization process we described shows that farmers alternate between decontextualization and contextualization processes to integrate fundamental knowledge into a functioning representation of a part of their own cropping system. We do not claim to study (nor to provide methods for) the definition of the accurate mental models (Johnson-Laird, 1983), which are the personal, internal representations and inferential processes that farmers use to interact with the system and to decide on control actions. But we consider that the analysis proposed sheds light on one way (corresponding to the particular case of the mobilization of fundamental knowledge) that personal representations may be built and continuously confirmed, modified and specified. In particular, we identified that it may involve the reformulation of knowledge resulting in a core idea integrating a coherent part of the functioning of a system. In Case 1, the design of the new practices proposed for the situation studied was informed by the fact that it is the thistle’s

growth that depletes the reserves and not the cutting, which the farmers had learnt was the theoretical outcome of the biological features of thistle. In that sense, the mobilization of fundamental knowledge allows for the redefinition of objects' functions, based neither just on the biological phenomenon described, nor simply on possible practices, but especially on a new interpretation of the functioning of a coherent part of the system which explains the link between them. These functioning aspects are more than what is sometimes called "if ...then rules" (e.g. McCown, 2012), in the sense that they are what organizes the different causal relations which may support the design of practices.

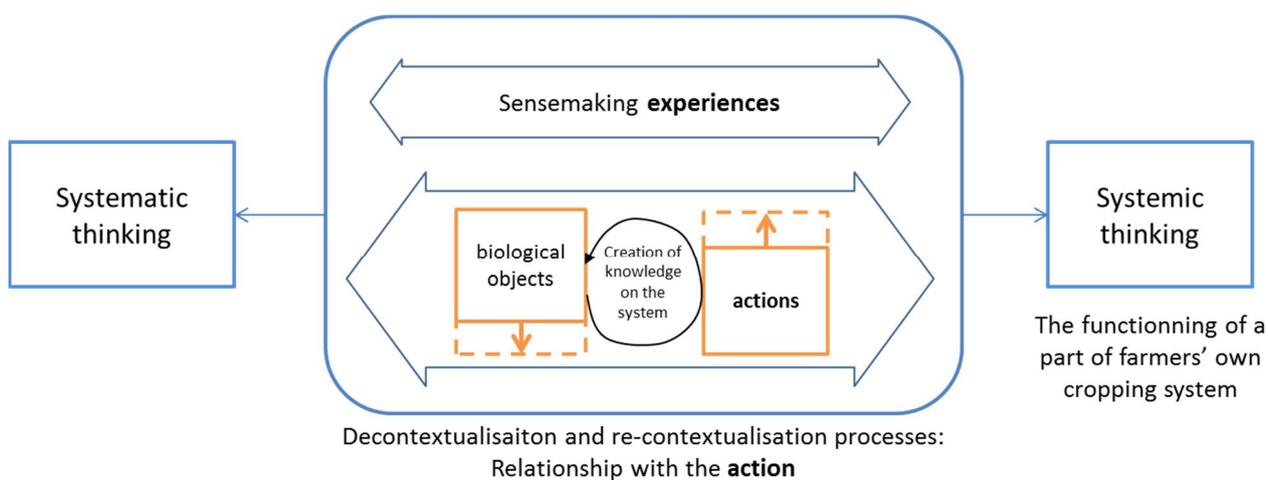


Figure 8: Farmers alternate between systematic and systemic thinking.

5 CONCLUSION

This article focused on cropping system re-design and addressed the link farmers make between generic and fundamental knowledge, their situated action on particular systems, and the systemic approach it entails. This led us to discuss how farmers take into account the immanent systemic aspects related to the re-design of cropping systems. One major finding is that farmers can choose, adapt and implement new practices based on an understanding of the functioning of a limited part of their own system, and not necessarily taking the modelling of the system, as complete and integrative as possible, as a prerequisite for choosing best practices. Finally, our findings show that farmers do not need a complete conceptual model of their situation to take action. Nor does such a conceptual model appear to be a result or a product of exploration in action. We propose an intermediary theory: farmers build a situated understanding of the functioning of their cropping system in order to design new practices, but this requires continuous comparison with the results of action, known or imagined, and with past experiences reformulated in light of new fundamental knowledge. Knowledge of the system increases in a joint dynamics, along with knowledge of action that farmers implement. Our conclusion is therefore not simply that it is necessary to further extend

knowledge on biological system components in any way possible. In fact, scientists wishing to support these re-design processes should produce knowledge which might be articulated in farmers' action on the scale of the processes and impacts of delimited techniques. The knowledge explored by agronomists around these conditions might be different from that resulting from a continuous inquiry led by scientists detached from action. It is worth remembering that these findings relate to re-design situations geared towards a greater mobilization of biological processes. This might explain the specific focus on fundamental knowledge about biological components of the system. Furthermore, the processes we described suggest that R&D agronomists should play a particularly significant role in identifying the possible links farmers operate between generic knowledge and their situated actions for re-design (Cerf et al., 2010; Delbos et al., 2014). Rather than supplying sets of operational procedures and "best practices", they should contribute to farmers' identification and observation of the situated biological phenomenon and the way they are affected by the various actions, and to the reformulation of individual experiences regarding this phenomenon, in order to support the development of farmers' representation of their own cropping system functioning. In return, agronomists' involvement in such processes might shed light on the directions which the production of scientific knowledge should follow.

DISCUSSION et CONCLUSION générales

L'objectif de ma thèse était de proposer une démarche d'analyse des connaissances mobilisées dans l'activité de re-conception pas-à-pas de systèmes de culture, réalisée par l'agriculteur. Ce travail m'a amené à décrire des processus par lesquels sont reliées connaissances et action, caractéristiques de ces changements. Les processus décrits permettent de mieux comprendre l'activité de l'agriculteur lorsqu'il fait évoluer progressivement son système de culture vers un système plus agroécologique. Ils fournissent en quelque sorte un point d'entrée pour décrire les dynamiques de changement. Je tiens également à rappeler que la posture de recherche adoptée dans cette thèse était orientée par l'objectif d'un retour théorique et méthodologique vers les activités des agronomes (de la recherche et du développement) qui œuvrent pour équiper, permettre et accompagner ces dynamiques de changement. Cette partie propose donc de discuter les résultats présentés dans les chapitres précédents selon trois axes qui ont été au cœur de l'analyse, et qui structurent un grand nombre de travaux actuels des agronomes.

Je commencerai par revenir sur la re-conception *pas-à-pas* des systèmes de culture vers l'agroécologie, en tant qu'activité spécifique pour l'agriculteur. Alors que cette activité a majoritairement été étudiée sur le plan de son organisation (comment concevoir un système de culture ? quelles étapes successives dans une démarche de conception ? quelle organisation collective ?), l'étudier via les connaissances mobilisées permet un renouvellement du regard porté par les agronomes sur sa réalisation.

Ensuite, je m'intéresserai plus particulièrement au concept de système de culture, à la façon dont on analyse que les objets qu'il inclut sont re-conçus, et aux aspects systémiques des dynamiques de connaissance qui leur sont liés. Cela m'amènera à proposer une relecture du concept de système de culture et à discuter son actionnabilité.

Enfin, je présenterai les intérêts et limites de l'approche des connaissances que j'ai construite, approche centrée au départ sur une analyse des « contenus », pour comprendre les processus de changement technique liés à la re-conception.

Pour chacun de ces axes, je distinguerai les apports de ce travail, les limites liées à la stratégie de recherche que j'ai mise en œuvre. Je terminerai en proposant des perspectives possibles pour continuer la démarche de recherche démarrée dans ce travail.

1 LA RE-CONCEPTION PAS-A-PAS VERS L'AGROECOLOGIE : UNE POSTURE D'ACTION

1.1 Apports pour la compréhension et l'accompagnement de la re-conception

Dans ce travail, le regard porté sur les situations de re-conception était très focalisé sur les connaissances, et en particulier sur la façon dont l'agriculteur les articule au cours de son changement technique pour leur construire un sens. Certes, ce choix représente une réduction du phénomène de changement, qui s'étale sur des temps longs et qui implique une multitude de reconfigurations dans des aspects autres que ceux liés à la technique agronomique (e.g. commercialisation, insertion socio-professionnelle, évolution des représentations du métier et des valeurs). Cependant, je souhaite insister ici sur le fait que cela permet d'apporter un point de vue spécifique sur la re-conception, qui est complémentaire de ceux fournis par des analyses davantage intégratrices de l'ensemble de ces dimensions (e.g. Coquil, 2014; Hill, 2014; Lamine, 2012).

1.1.1 *La re-conception définie par rapport au comportement de l'agriculteur pour l'action*

Le Chapitre I m'a permis de mettre en évidence une dynamique de mobilisation de connaissances que j'ai qualifiée de caractéristique de changements techniques pour la re-conception. En effet, j'ai observé que la mise en application d'une même technique pouvait mener à une succession de connaissances mobilisées très différentes, pour un même agriculteur mais aussi pour différents agriculteurs. Cela concerne notamment la place des connaissances quantifiées (mobilisées dans une première étape du changement pour certains, lors d'une seconde étape et suite à la première mise en application des nouvelles pratiques pour d'autres) et des modes opératoires classiques associés à une technique (par exemple, les recommandations de date, densités et profondeur de semis d'une interculture, éventuellement modulables, et les méthodes de destruction). Ces derniers étaient, pour certains, systématiquement mentionnés comme requis pour démarrer le changement et non complétés par d'autres connaissances (i.e. ils étaient considérés comme les conditions suffisantes pour maximiser les chances de réussite de la technique), pour d'autres ils n'étaient que confirmation d'une stratégie construite à partir d'autres connaissances, et n'étaient pas suffisants à eux seuls. J'ai identifié que ces distinctions s'expliquaient par la façon dont l'agriculteur reliait ce changement particulier au reste de son système de culture. Dans un cas, le changement technique intervenait dans un processus plus large de re-conception alors que, dans l'autre, c'était un changement « isolé » et sans conséquences (explicitées par l'agriculteur) sur son système de culture entier. Cette distinction a d'ailleurs été un critère de choix des situations à analyser par la suite, dans la démarche inductive de la thèse. Ceci m'amène à proposer une approche de la re-conception de systèmes de culture par l'agriculteur, non pas en rapport à des types de changements techniques, mais comme **une posture d'action et de développement (épistémique) de l'agriculteur que requiert son engagement dans une succession de changements techniques.**

1.1.2 Trois caractéristiques majeures d'une posture d'action de re-conception

Plusieurs résultats me permettent de contribuer à qualifier cette posture d'action. Tout d'abord, dans une étape de préparation du changement, j'ai pu identifier une mobilisation des connaissances sur des mécanismes, des fonctions et leurs interactions, qui participent à la construction d'un raisonnement agronomique. Cela peut paraître une conceptualisation contradictoire avec la « conceptualisation dans l'action » (Vergnaud, 2011), puisqu'elle précède la mise en application de la technique. Néanmoins, le chapitre III montre qu'une telle conceptualisation pouvait mettre en jeu des actions connues et des expériences passées de l'agriculteur. Cela constitue un autre angle d'approche, davantage cognitif, de l'initiation des changements techniques liés à la re-conception, que celui d'un passage nécessaire par la recherche d'efficacité²⁴, passage proposé par plusieurs travaux (Chantre, 2011; Lamine, 2011). Certes, ce ne sont pas les mêmes échelles de temps qui sont considérées ici. Ainsi, de manière complémentaire à l'approche de la reconception par les trajectoires de changement technique, je propose une lecture de la re-conception par des spécificités de l'activité cognitive de l'agriculteur et non par un type de technique défini indépendamment de cette activité.

D'autre part, les étapes du changement, interprétées du point de vue des connaissances qu'elles engagent, montrent que l'évaluation n'est pas uniquement un jugement final porté sur les effets de l'action et l'adéquation à l'objectif visé, comme souvent considéré dans la littérature, mais se poursuit, sous différentes formes, tout au long du changement. Cette « évaluation » porte à la fois sur la cohérence interne et la pertinence du principe agronomique qui sous-tend une nouvelle technique (i.e. c'est d'abord le raisonnement agronomique inscrit dans une proposition technique qui est évalué), sur la possibilité de sa mise en œuvre et de son adaptation, sur les effets des actions qu'elle implique, sur les conséquences non intentionnelles de son application. Aussi, les informations précises et quantifiées sur les incertitudes n'ont pas été identifiées comme un besoin pour initier le changement technique (Partie 3, Chapitre I -). Ces constats sont à mettre directement en lien avec les fonctions des indicateurs qui ont été décrites dans le chapitre II. En effet, et c'est la seconde spécificité de la posture d'action que je décris ici, les indicateurs, mobilisés par les agriculteurs au cours de leur activité de re-conception, n'ont que minoritairement des fonctions d'évaluation d'impact des pratiques et de vérification, mais contribuent majoritairement à des fonctions d'apprentissage et de monitoring de l'action. Cela relève d'une attitude particulière par rapport aux signaux de l'évolution du système, et en particulier dans le cas d'évolutions non connues ou non maîtrisées. Un même indicateur identifié dans la situation donnerait ainsi lieu à une interprétation différente selon qu'on se trouve en posture de re-conception ou non. Par exemple, l'état d'une culture de blé d'hiver constaté au printemps et lorsque la densité de semis a été diminuée peut être classiquement interprété comme un indicateur d'évaluation lié au semis (est-ce que la densité appliquée est la bonne, faut-il semer plus dense, moins dense, pour obtenir l'état de la culture attendu ?). Mais il peut aussi être interprété comme un indicateur de suivi de l'état de la culture qui permet une réinterprétation de la dynamique de croissance, et être couplé dans la suite de la

²⁴ en référence à la distinction entre efficacité, substitution et re-conception proposée par Hill et McRae, 1995, voir la partie Problématique.

campagne à d'autres indicateurs (e.g. le nombre d'épis par m², le rendement finalement obtenu). Selon Gibson (1982), nous percevons directement dans l'environnement la valeur fonctionnelle des objets, des situations, des événements, donc leur signification pratique : ceux-ci nous offrent des opportunités d'action ou des prises, sollicitent nos gestes et nos opérations, nous indiquent ce qu'il est possible ou ce qu'il convient de faire, ou nous présentent des risques, des obstacles, des menaces. Le concept d' « *affordance* » est proposé pour désigner la perception fonctionnelle des signes dans l'environnement : elle désigne l'objectivité du signe, mais également sa relativité à la posture et l'attitude de celui qui perçoit, à sa capacité à percevoir. Et c'est bien ce qui est en jeu dans la posture de re-conception décrite, la mobilisation d'indicateurs qui deviennent *affordances* par l'intelligence de la situation qu'ils engagent chez l'agriculteur. Ils permettent une analyse rétrospective à échelle de temps courte (e.g. indicateurs sur la campagne pour quelques actions) ou longue (indicateurs stratégiques, réinterprétation de l'expérience). Et ils s'avèrent avoir autant de valeur pour construire une capacité d'action qu'une simulation prospective. Autrement dit, si l'on se réfère aux trois niveaux de traitement de l'information proposés par Rasmussen (1986), les indicateurs sont généralement attribués par les agronomes aux niveaux des habiletés (défini par l'auteur comme le niveau où il faut acquérir des automatismes et où l'information est traitée comme un signal) et des procédures (niveau où on acquiert des règles du type « si telle situation, alors faire telle chose », et où l'information est traitée comme un signe), alors qu'ils devraient être considérés comme participant au niveau des connaissances (niveau où on s'appuie sur les connaissances qu'on a du fonctionnement de la situation et où l'information est traitée comme un symbole) dans une posture d'action pour la re-conception. Mettre en œuvre un changement technique dans le futur, c'est d'abord changer sur l'interprétation de ses pratiques passées. Cela requiert à la fois de nouvelles analyses (portant sur des processus qui n'étaient pas interprétés auparavant) mais aussi une transformation des interprétations d'effets des actions qui préexistent, par intégration de nouvelles connaissances.

Cela m'amène à décrire un dernier aspect de cette posture d'action. Les résultats du chapitre III suggèrent que la gestion des incertitudes, liée à une nouvelle situation pour l'agriculteur, passe également par la construction d'une compréhension, par l'agriculteur, du fonctionnement d'une partie de son propre système de culture. Elle nécessite une mise en correspondance itérative de connaissances nouvelles (et j'ai en particulier approfondi le cas des connaissances fondamentales et génériques sur les objets biologiques) avec le système pratiqué. Cela pose la question de l'apport des modèles de simulation pour une telle construction. En effet, puisqu'ils agrègent l'ensemble de ces connaissances, ils permettent davantage de faire des hypothèses sur des résultats d'un fonctionnement que sur des liens de causalité au sein de ce fonctionnement. Ainsi la mobilisation itérative décrite ne vise pas à choisir la meilleure technique à appliquer, mais aussi à faire évoluer la compréhension du fonctionnement du système et du rôle des actions au sein de son fonctionnement. Je reviendrai plus en détail sur cet aspect dans le paragraphe 2.

1.2 Quelle dynamique de changements techniques ?

Finalement, la description de cette posture m'amène à décrire un processus de changement technique (et en particulier les trois étapes décrites dans la partie 3, Chapitre I -) très proche de ce que Rogalsky et Veillard (2002) résumant concernant les modèles d'apprentissage autorégulé²⁵ : « *tous les modèles distinguent globalement trois phases dans le processus d'apprentissage autorégulé. La phase préparatoire consiste à analyser la tâche, à planifier et à fixer des objectifs. Elle implique, d'une part des connaissances (méta)cognitives, motivationnelles et émotionnelles sur soi-même, d'autre part des connaissances sur la tâche et la situation. La phase de la résolution de problème proprement dite réfère à l'utilisation des stratégies de résolution de problèmes ainsi qu'à des activités de monitoring et de contrôle " on-line ". La dernière phase est celle d'évaluation des résultats et du feedback. Le processus est cyclique car l'évaluation est à son tour supposée influencer la phase de préparation suivante* ». Les processus de changement et les processus d'apprentissage apparaissent très liés. Un intérêt de ce travail de thèse est de pouvoir revenir sur la fonction d'apprentissage pour affiner ce qu'on y repère quant aux connaissances mobilisées dans le changement, c'est-à-dire préciser ce que peuvent être les « *connaissances sur la tâche et la situation* ».

La dernière phrase de la citation ci-dessus suggère une linéarité dans une succession de changements. Ma méthodologie ne me permet pas de conclure sur l'organisation des changements techniques dans le temps et de l'activité cognitive de l'agriculteur qui reconçoit. Doit-on considérer une « succession » de plusieurs changements techniques, pouvant suivre différentes voies dont on retrace la logique dans une trajectoire ? Ou bien doit-on considérer que plusieurs changements peuvent intervenir en même temps, non pas parce qu'ils concernent des domaines de gestion différents au sein du système de culture, mais bien dans un rapport hiérarchique, un changement étant plus *fondateur* d'un cadre de raisonnement pour réaliser d'autres changements ? Ainsi un agriculteur enquêté a exprimé l'importance pour lui d'un changement majeur, le passage à une fertilisation localisée sur le rang pour l'ensemble de ses céréales, qui conditionne l'évolution de son système de culture. Et c'est dans le cadre fixé par ce premier changement qu'il a ensuite pensé et appliqué un second changement technique, celui de la mise en place d'un couvert permanent et de semis sous couverts. Ceci permet de questionner l'idée de « *phase de cohérence* » proposée par Chantre (2011), définie comme une période de temps pendant laquelle un ensemble de pratiques agronomiques et de principes d'action sont considérés stables, et correspondant à des catégories préconstruites par les agronomes. La progressivité du changement réalisé par l'agriculteur est interprétée du point de vue de l'agronome en ces différentes phases, mais l'auteure ne conclut pas, sur la correspondance entre les passages d'une phase de cohérence à une autre, à une rupture sur le plan cognitif de l'agriculteur, notamment dans ses modèles opératifs. Pour Coquil (2014), un changement sur le temps long met en jeu des discontinuités franches dans l'organisation des mondes professionnels de l'agriculteur, et des phases se succèdent pendant lesquelles l'agriculteur reconstruit une cohérence entre les différentes composantes du monde professionnel. Encore une fois, mon travail questionne la pertinence de regarder le changement technique comme un

²⁵ Ces auteurs précisent que « L'apprentissage autorégulé réfère aux façons dont les individus régulent leurs propres processus cognitifs dans des contextes éducatifs ».

processus concret qu'on délimite par l'acte technique ou son lien avec un artefact, du point de vue de l'agronome. Une approche via les connaissances mobilisées peut suggérer que le « changement », du point de vue de l'agriculteur, peut davantage être délimité par la mobilisation d'un ensemble cohérent de connaissances selon une dynamique particulière. La distinction proposée ici porte sur le fait qu'on s'intéresse à une dynamique de ce qui fait effectivement évoluer l'organisation de l'activité sur le plan cognitif (et qui serait ce qui est spécifique de la re-conception), et non à des comparaisons de modèles opératifs considérés plus ou moins stables. N'est-ce pas cette re-conception, définie alors comme ce qui fait évoluer les schèmes de l'agriculteur et guider une diversité de changements techniques, qu'il convient de mieux explorer ? Dit autrement, il me semble qu'une autre façon de se poser la question de l'existence de phases de cohérence, ou de ce à quoi elles correspondent sur le plan cognitif, est de se poser la question des dynamiques de mobilisation de connaissances au cours des changements techniques sur le temps long.

1.3 Quel modèle pour décrire la posture d'action de re-conception ?

Dans la façon dont j'ai considéré l'action de changement technique de l'agriculteur, j'imbrique, dans ce que j'appelle une posture d'action, ce que certains auteurs séparent dans plusieurs activités. Beckers (2008), par exemple, distingue les « [1]activités centrées sur l'acquisition nécessaire et systématisée des ressources issues des théories et des recherches et sur leur mobilisation en situation, [2]activités professionnelles en contexte réel et [3]activités spécifiquement dévolues à la conceptualisation de l'action professionnelle ». L'enjeu était bien de prendre en compte l'ensemble de ces activités et d'essayer d'en expliciter l'articulation. Cela amène à replacer l'action de re-conception décrite dans ce travail au sein des différentes théories de l'action dans le domaine agricole. Est-ce que l'agriculteur dispose d'un modèle conceptuel de la situation ? Est-ce que celui-ci est construit pour agir, est-il une condition préalable à l'action ? Ou bien est-ce un terme, un produit d'une exploration synchrone de l'action ?

Les résultats de ce travail suggèrent une réponse intermédiaire. J'ai montré que l'agriculteur acquiert une compréhension du fonctionnement d'une partie du système dans une situation, ce qui va lui permettre de se donner une autre définition de cette situation dans laquelle il va agir à l'avenir, qui va bien sûr elle-même évoluer. Cette description de la situation pour l'agriculteur correspond à la définition proposée par Mayen (2001): « un espace intermédiaire. Elle est structurée par l'activité du sujet qui la définit et la redéfinit en cours d'action, et structurante au sens où elle impose ses contraintes, suscite des formes d'activité, provoque des réaménagement des formes d'activité ». Ainsi, l'action au cours de la re-conception ne correspond pas au résultat d'une planification complète. Le modèle d'action (Sebillotte & Soler, 1990), dans lequel même les adaptations en cours de campagne sont prévues d'après ce qui est connu au départ, ne permet pas de rendre compte de la conceptualisation qui a lieu au cours du changement technique. Il associe au pilotage une mobilisation des indicateurs essentiellement liés aux règles de décision, ce qui ne rend pas compte de l'usage d'indicateurs indépendant de ces règles, dont notre travail sur les fonctions des indicateurs et leurs combinaisons aux connaissances fonctionnelles permet de rendre compte. L'action décrite dans cette partie correspond davantage à ce que décrivent les théories de l'action située (Suchman, 1987) et de la gestion adaptative (Schreiber et al., 2004; Williams, 2012), attribuant

une plus grande part d'adaptation des stratégies organisatrices de l'action aux signes que renvoie la situation. Elles sont en partie remobilisées dans le modèle du comportement pour l'action proposé par Hubert et Girard (1999). Toutefois, il me semble que les dynamiques de connaissances décrites et les fonctions associées aux indicateurs permettent de préciser, dans le domaine agricole, que l'adaptation n'est pas un simple réflexe engendré par le seul environnement de l'action en cours, et basé sur les compétences à un moment donné de l'agriculteur. Il me semble important d'insister sur le fait que l'adaptation s'inscrit dans une conceptualisation s'étalant sur un temps long et sur diverses situations.

Mon travail propose donc une nouvelle façon d'aborder les situations de re-conception qui résulte de la volonté d'en tirer des enseignements pour les agronomes qui accompagnent et outillent de tels changements. Elle trouve son origine dans une analyse des dynamiques de connaissances que cette activité implique. Toutefois, je rappelle ici qu'on ne peut pas immédiatement étendre ces conclusions à tout type de re-conception. D'une part, le cadre de l'agroécologie choisi dans cette thèse est porteur d'un certain nombre de spécificités à la fois dans l'action de l'agriculteur et dans le type de changements techniques. En effet, ce sont des changements particuliers dans le sens où ils mettent en jeu des objets naturels auxquels on attribue des fonctions liées à la production (e.g. populations d'auxiliaires et les éléments semi naturels qui favorisent leur développement tels que les haies ou les bandes fleuries insérées dans le parcellaire de l'exploitation, plantes de services en association avec les cultures ou en interculture). Ces objets induisent des incertitudes sur les processus biologiques qui impactent les effets des pratiques. On peut également faire l'hypothèse que les mobilisations de connaissances fondamentales sur le fonctionnement de ces objets est donc une particularité de la re-conception vers l'agroécologie. Par exemple, rien ne me permet de dire que la re-conception de systèmes de culture vers une plus grande mobilisation des biotechnologies, souvent opposée à la transition vers l'agroécologie, engendre les mêmes postures d'action. Les stratégies peuvent même être opposées, notamment puisque les incertitudes sont dans ce cas bien plus contrôlées et réduites : on gère les cultures dans le but que la croissance soit plus indépendante des processus naturels mobilisés en agroécologie, soit en développant des résistances (e.g. cultures produisant leurs propres molécules de défense contre les ravageurs) soit en améliorant leur capacité à mobiliser des ressources (e.g. introduction de gènes de résistance à la sécheresse dans le génome des cultures).

D'autre part, il est important de remarquer que les pistes qui ont permis de définir les différents terrains explorés nous ont été fournies par des agronomes faisant essentiellement partie d'une même communauté épistémique (Adler & Haas, 1992; Miller & Fox, 2001). En effet, les agronomes qui sont à l'origine (ou qui ont influencé) des démarches du projet SCI d'AgroTransfert Picardie, des ateliers organisés par le RMT SdCI, des différentes réunions que nous avons observées ou animées, sont peu nombreux et rassemblés autour des mêmes unités de l'INRA. Le seul contrepoint à cette influence a consisté en des entretiens réalisés avec des agriculteurs identifiés indépendamment de leur participation à ces projets (ceux de la première phase d'entretien et ceux d'entretiens complémentaires identifiés via une base de données issue de travaux antérieurs réalisés par l'ISARA sur des pratiques innovantes). Cette restriction dans les possibles explorés peut constituer une limite

à la possible généralisation des résultats que nous proposons à une plus grande diversité de processus de re-conception.

1.4 Implications pratiques et méthodologiques pour les agronomes

J'ai rappelé mon objectif dans cette recherche de faire un retour aux agronomes pour identifier des pistes de contribution à la re-conception. Suite à ce qui a été décrit ci-dessus, ce retour peut se concrétiser ici sous deux formes d'apports pour les agronomes chercheurs, dont les démarches sont proches de l'action des agriculteurs, et les conseillers agricoles au sens commun du terme. D'une part, l'approche conceptuelle de la re-conception proposée peut être remobilisée par des conseillers pour comprendre les processus de re-conception qu'ils rencontrent dans leur activité et en repérer les dimensions clés dans des situations particulières. Par exemple, il pourra chercher à mettre en lumière les relations qu'entretiennent différents changements techniques réalisés par un même agriculteur pour identifier s'ils correspondent effectivement à une re-conception d'un système de culture, et identifier les étapes du changement dans lesquelles l'agriculteur se trouve pour adapter son conseil. D'autre part, ce travail propose des outils heuristiques (e.g. la catégorisation des connaissances et des fonctions des indicateurs) pour guider leur démarche de construction et mise à disposition de ressources cognitives et techniques aux agriculteurs. Ce deuxième type d'apport complète des outils déjà existants, tels que la grille « Agroseil » (Cerf, Laudinot, et al., 2011), davantage orientée vers le soutien à la réflexivité du conseiller sur sa propre activité.

Delbos et al (2014) proposent de considérer que, lorsque l'agronome conseiller accompagne une situation de re-conception, ce sont deux démarches d' « enquête » qui se rencontrent, au sens que Dewey (1938) donne à la notion d'*enquête*²⁶ : le processus qui permet de problématiser une situation (poser le problème), qui se poursuit en construisant le problème (articuler un certain nombre de références qui sont les données du problème et un certain nombre d'inférences qui sont des suggestions, des hypothèses), et qui se conclut par un jugement. Les résultats de cette thèse permettent d'orienter la manière dont on perçoit chacune de ces *enquêtes* et d'équiper celui qui veut en suivre la progression pour y intervenir. J'exprime cela en insistant en particulier sur les indicateurs dans la suite de ce paragraphe. Delbos (1983), dans une étude des pratiques et savoirs des paludiers, constatait bien « *un décodage différent de deux niveaux de réalité, l'ordre réducteur du quantitatif [pour les scientifiques] s'opposant au foisonnement irréductible du qualitatif [pour les paludiers].* » Les scientifiques évaluent le degré de salinité de l'eau par sa composition (taux de concentration en sels, déduits du degré d'acidité de l'eau et de sa température, elle-même interprétée à partir de trois lois qui relèvent des théories de la physique des corps), alors que les paludiers l'évaluent par observation de la hauteur de l'eau dans la saline, sa couleur, son aspect, sa viscosité, la viscosité de l'argile sur laquelle elle circule, son goût, la faune et à flore aquatiques, l'air ambiant et le temps qu'il fait, la date à laquelle les marais ont été remis en eau, l'évolution du temps depuis et les difficultés rencontrées au cours des travaux antérieurs, l'emplacement de la saline, ce qui se passe dans d'autres salines, des repères temporels. Elle énumère ainsi une liste, non

²⁶ J'utilise le terme d'enquête, ici est dans les pages suivantes, au sens que Dewey lui donne, c'est-à-dire une « transformation contrôlée ou dirigée d'une situation indéterminée en une situation qui est si déterminée en ses distinctions et relations constitutives qu'elle convertit les éléments de la situation originelle en un tout unifié ».

exhaustive : « à la limite, tout est indice, tout ce qu'on peut voir, toucher, entendre, goûter, mais aussi tout ce qu'on peut savoir de ce qui a été vu ou perçu ailleurs dans d'autres marais ». Bien que l'auteure insiste sur le caractère sensible (i.e. perçus par les sens de la vue, du toucher, du goût) des indicateurs utilisés, une telle conclusion ne permet pas de guider l'identification des indicateurs dans d'autres domaines. Or si les cadres que mon travail propose pour identifier et caractériser les indicateurs utilisés dans le changement technique me semblent concorder avec ces conclusions, ils permettent davantage de reconnaître et anticiper l'utilisation d'observations par les agriculteurs (Cf. Chapitre II -). En effet, ce travail suggère que l'agronome conseiller qui souhaite équiper l'agriculteur dans une posture d'action de re-conception, telle que nous la décrivons, devrait permettre et formaliser l'utilisation d'indicateurs pour apprendre de la situation, aider à des redéfinitions de fonctions attribuées aux objets et des réinterprétations de causalités à la fois biophysiques et stratégiques. Cela peut, par exemple, amener à utiliser les expérimentations système d'une manière renouvelée, c'est-à-dire ne pas montrer uniquement la composition technique et la logique agronomique qui la sous-tend, ainsi que la pertinence et les performances des systèmes testés, mais aussi tout ce qui est observé et interprété par l'expérimentateur. Il s'agit de partager les éléments d'une *enquête* de l'expérimentateur pour construire des connaissances sur le système de culture et des compétences pour sa gestion, c'est-à-dire mettre en lumière la manière dont l'agronome a progressivement transformé les *inférences* de son *enquête* en *références*. Dans le cas d'un itinéraire technique intégré du blé d'hiver, par exemple, décrire le mode opératoire tel qu'il a été pratiqué par l'agronome accompagne le processus d'*enquête* de l'agriculteur de manière bien moins complète que l'apport d'un ensemble d'indicateurs, qui permettent de suivre ce qui se passe dans la parcelle lors de sa mise en œuvre. Réinterpréter l'observation qu'un agriculteur peut faire au printemps, d'une densité et d'une vigueur de plantes plus faibles que celles généralement observées dans un itinéraire conventionnel demande de modifier le sens donné au pourcentage de couverture du sol, au nombre de pieds par m², à la couleur du couvert, etc. Ce ne sont pas seulement les indicateurs de déclenchement, inclus dans les règles de décision, mais aussi des indicateurs guidant l'observation d'états intermédiaires du milieu, de façon statique pour réinterpréter une évolution ou l'anticiper, ou directement de façon dynamique, ainsi que des indicateurs pour évaluer les stratégies et comprendre les évolutions sur le long-terme. Seule une telle complémentarité d'indicateurs contribue à redéfinir des fonctions des intrants, des techniques ou des objets naturels de l'agrosystème, ainsi que des raisonnements agronomiques qui expliquent la cohérence des actes techniques. Les attributs et fonctions des indicateurs que nous proposons dans le chapitre II sont des guides pour une telle activité. Ils fournissent des repères pour aider à l'identification des indicateurs, à leur explicitation pour le partage de leur interprétation au plus proche des situations de réalisation d'action, comme par exemple lors des tours de plaine (Sebillotte, 1969).

Cependant, mon travail ne décrit pas complètement un processus de création d'inférences sur l'évolution de la situation. Le choix de catégoriser les fonctions et attributs des indicateurs s'est fait au dépend d'une analyse plus longitudinale de séquences de mobilisation de différents indicateurs pour arriver à la formulation d'une hypothèse sur une cause, une action à mener, une évolution à venir. Même si j'associe les différentes fonctions identifiées à certaines phases du changement technique, on ne décrit pas des articulations précises entre les différents indicateurs. Ceci est

considéré comme une perspective du travail initié : à partir des cadres proposés, il serait possible de suivre plus spécifiquement et dans le cours des actions, les différentes chaînes d'inférences construites et l'articulation des indicateurs mobilisés.

1.5 Limites méthodologiques dans l'étude des processus de re-conception

Comme rappelé précédemment, les résultats concernant l'action dans les situations de re-conception de système de culture sont conditionnés au choix que j'ai fait de m'intéresser aux transitions vers des systèmes mobilisant des principes agroécologiques. Mais qu'en est-il de la diversité des situations de re-conception qui peuvent s'inscrire dans un tel cadre ? La diversité des situations explorées n'a pas été pensée de manière à viser une diversité représentative de techniques. On peut donc se demander si les résultats concernant en particulier les indicateurs mobilisés (Partie 3, Chapitre II -) et les processus de mobilisation de connaissances génériques sur les objets biologiques (Partie 3, Chapitre III -) ne sont pas contingents des types de changement technique les plus observés au cours de la thèse.

D'autre part, et cela a bien été évoqué dans la Partie 2, l'identification de situations de re-conception n'est pas évidente *a priori*. Ainsi, il n'est pas garanti que l'ensemble des observations et collectes de données réalisées dans ce travail aient exclusivement concerné des situations de re-conception. Assumer cette incertitude, c'est assumer en même temps le caractère en partie heuristique des résultats apportés. En retour, ce travail fournit une nouvelle clé d'identification des situations de re-conception, comme cela a été discuté ci-dessus.

Les situations de re-conception choisies visaient à accéder à des processus de changement technique déjà en cours. Ainsi, l'échantillon constitué ne me permet pas d'analyser quelles connaissances sont source d'initiation de transitions, de changement pour la re-conception. J'assume de me cantonner à l'analyse de ce qui permet, dans des dimensions cognitives, de continuer le changement engagé.

D'un point de vue méthodologique, d'autres difficultés se sont posées. La première est très classiquement signalée dans la mobilisation de l'entretien semi-directif d'explicitation : comment s'assurer que la connaissance exprimée est celle qui a effectivement été mobilisée dans l'action ? que l'agriculteur ne présente pas une logique d'action reconstituée *a posteriori* ? De plus, il est souvent argumenté qu'on ne fait pas une vraie analyse du travail sans observation directe des situations de travail productif. Je tempèrerais cette limite en rappelant que ce qui m'intéressait dans ce travail était de comprendre comment se construit un sens de la pratique pour l'agriculteur dans son changement. Or l'observation du travail ne donne accès qu'à une partie de cette construction de sens (qui s'étend sur une diversité de situations, y compris celle de l'entretien avec un chercheur !), qu'il m'a semblé plus facile de reconstituer, de manière plus complète, même si moins précise, au travers de verbalisations de l'activité. En ce qui concerne les réunions collectives de partage de connaissances ou de conception d'un changement technique, même en se plaçant en particulier dans une analyse des articulations de connaissances pour la construction de raisonnements agronomiques nouveaux sur des pratiques passées ou envisagées, ce format comporte ses limites. D'une part, on ne peut pas revendiquer une analyse complète de l'appropriation des connaissances, de la stabilité du sens construit. En effet, comment s'assurer que ce qui est explicité lors de ces réunions est

effectivement ce qui sera réinvesti dans l'action par la suite ? Il a été difficile, tout au long de la thèse, d'identifier ce qui est, pour l'agriculteur, une connaissance qui provient directement d'une interaction avec l'extérieur (un voisin, un agronome, une lecture), et ce qui correspond à une partie d'un raisonnement en construction ou momentanément stabilisé, reposant sur plusieurs apports ou expériences. Autrement dit, il n'a pas été évident de savoir où l'agriculteur se trouvait sur un axe d'appropriation des connaissances, de déplacement entre l'adhérence et la désadhérence (Schwartz, 2009). D'autre part, j'ai été obligé de faire l'hypothèse fragile que les échanges de connaissances et les constructions de sens au cours des réunions observées ou organisées reflétaient fidèlement les propriétés de ces mêmes processus lorsqu'ils ont lieu dans les situations d'activité de l'agriculteur sur l'exploitation.

Dans cette partie, j'ai proposé une manière de comprendre la re-conception que suggère les résultats de cette thèse, centrée non pas sur une analyse externe des pratiques mises en œuvre, mais sur les particularités des dynamiques de mobilisation de connaissances auxquelles elle correspond et à la posture d'action qu'elle requiert. Mais pour l'instant, l'objet de la re-conception, le système de culture, a été peu abordé. Je discute dans la partie suivante les aspects systémiques qu'implique cet objet de conception.

2 CONCEVOIR UN SYSTEME DE CULTURE : QUELLES SYSTEMIQUES DANS LES DYNAMIQUES DE MOBILISATION DE CONNAISSANCE ?

2.1 Apports : une systémique construite par des ensembles de connaissances mobilisés de manière dynamique

Aborder les processus de mobilisation de connaissances pour le changement technique en particulier au cours d'une re-conception de système de culture n'était pas un choix neutre. Il visait à cibler la question des aspects systémiques inhérents à l'action, par essence ponctuelle, de l'agriculteur dans ces situations. En effet, alors que le rôle déterminant d'une approche systémique pour le changement des pratiques est affirmé par les agronomes (voir par exemple Meynard & Cresson, 2011), il provient essentiellement d'une analyse des interactions entre pratiques et différentes dimensions du fonctionnement des agroécosystèmes. En revanche, peu de travaux portent, à ma connaissance, sur la façon dont les agriculteurs se construisent eux-mêmes une vision systémique dans l'action, ou sur l'importance d'avoir une telle vision pour s'engager dans le changement et le construire. Aussi, **j'essaie ici de rendre compte de ce que les résultats de ce travail apportent pour comprendre comment se développent des approches systémiques dans l'action, et donc pour aider ces développements.**

L'outil de caractérisation des connaissances qui a été présenté dans le Chapitre I -montre l'intérêt de penser les connaissances mobilisées dans des ensembles d'éléments de connaissances (que nous avons appelés profils de caractéristiques de connaissances). Cela revient à dire que **tenter de décrire ce que sont des connaissances actionnables ne revient pas à déterminer la nature et la forme d'un énoncé propositionnel, isolé, directement appropriable par l'acteur, mais à déterminer quelles articulations entre des connaissances variées construisent, pour l'acteur, une capacité à envisager et à réaliser l'action**²⁷. Certes, l'outil de caractérisation des connaissances permet de ne rendre compte que de la partie explicitée de ces articulations de connaissances. Mais il permet de montrer quels peuvent être ces ensembles, et quelle est leur évolution au cours des étapes du changement technique.

Un exemple simple concerne les échelles de temps. L'analyse des résultats du Chapitre I -(Partie 3) montre qu'il est moins adéquat de chercher l'échelle temporelle idéale pour rendre compte d'un phénomène (ex. sur quelle durée analyser les effets précédents des cultures) que de combiner les connaissances qui portent sur des temps courts et sur des temps longs. Or la stratégie de publication des travaux scientifiques, qui sépare nettement les connaissances portant sur ces différentes échelles, ne permet pas d'en faire une synthèse reconstituant un ensemble des connaissances dont je parle ici. Il me semble que cette synthèse est majoritairement effectuée, d'une part, via l'encapsulation des connaissances au sein de modèles intégrés de fonctionnement des cultures ou des systèmes de culture (par les agronomes scientifiques)(e.g. Affholder et al., 2010; Bergez et al., 2010; Tittonell et al., 2008; Tixier, 2004), et d'autre part, dans la formalisation de prototypes de modes de conduite de cultures ou de systèmes de culture (par les agronomes du développement)(e.g. Lançon et al., 2008; Vereijken, 1997). Dans un cas comme dans l'autre, elles ne se basent pas sur une analyse de l'activité épistémique des agriculteurs pour déterminer la manière de faire une synthèse adéquate. Je propose donc l'idée qu'il ne faut pas tant chercher les manières les plus appropriées de délimiter les réalités des phénomènes (e.g., les différentes échelles de temps), et de représenter ou prendre en compte les interactions entre ces phénomènes. En effet, ce ne sont pas seulement des oppositions de points de vue sur les dimensions qu'il faudrait ou non prendre en compte et les délimitations de *systèmes* auxquelles elles aboutissent (éternel débats des choix de réductions) qui se jouent : la connaissance produite dans chaque cas est bien différente quant à sa capacité à s'insérer dans un processus de mobilisation dynamique par une personne qui agit dans la réalité étudiée.

2.2 Une systémique qui se construit en intégrant l'action dans un système et non pas en combinant des effets de l'action *sur* un système

Manipuler des ensembles de connaissances ne correspond pas encore à décrire une systémique. Les résultats de ce travail apportent des éléments pour comprendre comment se construit cette systémique dans les processus de mobilisation de connaissances des agriculteurs.

²⁷ C'est en cela, je crois, que mon travail a fait son premier pas en dehors d'une épistémologie de la possession.

2.2.1 Une construction progressive du système, plutôt qu'une approche globale et simultanée

Dans les dynamiques de mobilisation d'ensembles de connaissances, décrites dans le chapitre I, il est possible d'interpréter que les éléments constitutifs du concept de système de culture sont combinés tout au long des étapes du changement. Pour ne citer que quelques exemples, les interactions entre pratiques sont surtout liées à ce que nous décrivons comme les deuxième et troisième étapes (la mise en application, adaptation, et suivi des actions liées à la nouvelle pratique, et l'évaluation des conséquences sur l'ensemble de l'agrosystème, respectivement, Cf. Chapitre I -). Les modes opératoires pour l'application de la technique, et les précisions (notamment quantifiées) des règles de décision sont liés à la deuxième étape. Les incertitudes n'ont pas besoin d'être complètement précisées dans la première étape. A cette étape, on trouve surtout des éléments de connaissances concernant le raisonnement agronomique, c'est-à-dire les fonctions associées aux objets mis en jeu dans la technique, les mécanismes biologiques sur lesquels elles s'appuient. **Une interprétation de ces mobilisations successives des éléments de connaissance, est que l'action de l'agriculteur fait partie du système qui se redessine au cours du changement.** Avant la mise en pratique d'un nouveau système de culture, l'ensemble des éléments de connaissances qui permettraient de représenter ce système n'apparaissent pas. Ils sont compilés au fur et à mesure des étapes du changement. Ainsi, dans le chapitre II, j'ai montré que les indicateurs mobilisés au cours du changement s'orientaient moins vers l'évaluation des impacts des actions (i.e. des performances du système à un instant t), que vers l'apprentissage de la façon dont l'action reconfigure le système de culture, la confirmation de connaissances (notamment via des relations causales biophysiques ou stratégiques), et l'évolution du système de manière synchrone à l'application des actions. Un agriculteur résumait, au cours d'un entretien, les questions auxquelles il cherchait à répondre via les différents indicateurs explicités : « *Est-ce que le système évolue dans la direction souhaitée ? [...] On travaille sur du vivant ; comment est-ce que l'on sait qu'à un moment donné on améliore ou on dégrade une situation ? [...] Savoir si nos pratiques s'améliorent ou pas* » Ce sont ces questions qui guident la prise d'information dans la situation. Elles expriment bien à la fois la progressivité dans la construction du système et la non dissociation des pratiques de cette construction. Derrière « *s'améliorent* », il est également apparu qu'il y a référence à une *précision* acquise dans les modes opératoires et leurs modulations pour la mise en application efficace des pratiques. Dans le chapitre III, il apparaît qu'une compréhension du fonctionnement d'une partie du système se construit en contextualisant des connaissances génériques, une contextualisation qui intègre l'action au processus biologique considéré. Des connaissances fondamentales sur un processus biologique, qui pourraient être au cœur d'une représentation d'un système, ne sont pas forcément mobilisées²⁸

²⁸ J'ai utilisé tout au long de cette thèse le verbe 'mobiliser', mais peut-être que si je n'ai pas été amené à formuler des propositions exactes de ce qui peut être 'mobilisé' ou non, c'est que les connaissances ne sont pas 'mobilisées' au sens où on l'entend. C'est-à-dire qu'elles permettent dans un premier temps de construire un modèle de fonctionnement situé (si on considère que l'action fait partie de la situation), qui ensuite est 'actionné', permet de concevoir des stratégies ou prévoir des pratiques. Je distingue ce que j'appelle 'modèle de fonctionnement situé' de la structure conceptuelle de la situation de Pastré, parce que j'estime (c'est discutable) que ce modèle fait intervenir d'autres formes de concepts que ceux que Pastré nomme les concepts pragmatiques, qu'ils aient été produits dans la pratique ou pragmatisés. En effet, ce n'est pas seulement une

indépendamment de l'action de changement. Elles prennent du sens dans une articulation avec des indicateurs observés dans la situation, avec des effets connus des actions possibles, avec des retours sur l'expérience vécue, qui intègrent bien plus qu'une représentation idéelle de l'effet de l'action.

2.2.2 Un positionnement de l'agriculteur dans le système : son action est constitutive de son fonctionnement

Ces éléments m'amènent à discuter d'une opposition entre deux systémiques, l'une qui permet de penser l'action *sur* un système et l'autre une action *dans* un système, autrement dit l'une qui adopte un point de vue externe et l'autre un point de vue interne par rapport au système considéré.

Delbos (1983) propose une interprétation de l'approche systémique des paludiers dont elle analyse le travail, pour laquelle l'action de l'homme est sur le même plan que d'autres processus naturels, d'autres forces naturelles. L'homme est donc un « *élément catalyseur parmi d'autres* », il « [reconnait] *dans la nature un autre sujet agissant avec lequel il s'engage dans un processus de production* ». Cela corrobore l'idée que le paludier ne cherche pas à tout comprendre d'un système pour ensuite agir *sur* lui, mais conçoit l'ensemble du système comme ce qui intègre son action et d'autres processus moteurs. Ce n'est pas une connaissance *sur* le monde qui est recherchée, mais sur ce qui permet de transformer ou de recréer la réalité décrite par la connaissance *sur* le monde. Cette idée apparaît dans le concept d'actionnabilité tel qu'Argyris le décrit : "*Actionable knowledge informs us how to create or produce what we claim has high external validity*" (Argyris, 1996). Autrement dit, **l'agriculteur qui re-conçoit son système de culture acquiert une connaissance sur le monde d'une façon inextricable de la façon dont il le transforme, et dont il comprend qu'il le transforme**. Dans une approche d'une activité en routine, cela reprend l'idée que les connaissances sur les processus sont organisées selon un répertoire d'actions connues de l'agriculteur (Cerf, 1996). Mais dans une approche de transformation de l'activité, cela amène l'idée que **ce sont en grande partie les actions connues ou réalisées qui guident la construction (par transformation et non simple accumulation, Cf. chapitre III) des connaissances qu'on peut avoir sur les processus, et non l'inverse**. Il est possible de rapprocher cet argument de la distinction que Shotter (2012) propose entre « *thinking about systems* » et « *systemic thinking* », aussi appelé « *witness thinking* », qu'il élabore à partir des travaux de Pearce²⁹. Elle porte à la fois sur la perspective (observateur ou acteur faisant partie du système) qu'une personne adopte envers le système considéré, et sur la part d'action qu'implique ou non ce à quoi se réfère « *thinking* » (uniquement cognitif, ou inclut l'action en situation). Ainsi,

intelligence d'une situation pour en acquérir une maîtrise, mais une intelligence de parties du système (et j'insiste sur le fait qu'une part d'ignorance en est constitutive) qui ont une autre visée épistémique que la maîtrise. Les connaissances peuvent intervenir plus ou moins directement sur ce modèle conceptuel, mais en tout cas ce n'est pas une connaissance qui aura une conformation clé qui sera 'mobilisée', mais plutôt un ensemble qui va permettre de construire une cohérence agronomique située.

²⁹ Pearce (1998) affirme que « *the 'thinking' involved in 'thinking systemically' is not only or even primarily a cognitive process but inevitably involves acting into situations... The distinction between thinking about systems and thinking systemically hinges on the perspective of the person doing the thinking. One can and usually does think 'about' systems from outside the system. That is, whether we might describe the thinking as ontologically a part of the system or separate from it, in this instance the thinker takes the observer-perspective. When thinking systemically, on the other hand, the thinker is self-reflexively a part of the system and takes the perspective of a participant or component of the system* ».

« *thinking about systems* » correspond au fait de caractériser les systèmes par un arrangement de propositions théoriques logiquement interconnectées, comme des choses objectives dans une partie du monde séparée de nous-même. Cela mène, dit Shotter, à des résolutions de problème en plusieurs étapes : i) l'approche d'une nouveauté comme un problème à résoudre qui requiert tout d'abord d'analyser cette nouveauté comme un ensemble d'éléments identifiables ; ii) l'identification d'un arrangement entre ces éléments, iii) la propositions d'hypothèses sur des lois, principes, règles qui sont responsables de cet arrangement ; iv) la recherche d'autres preuves pour confirmer ces lois, pour ancrer l'arrangement des éléments dans un cadre théorique du système. Ensuite seulement, ce cadre théorique est utilisé dans les nouvelles actions. Au contraire, le « *witness thinking* » est un « *knowing to do with one's participation within a situation, with one's 'place' within it, and with how one might 'go on' playing one's part within it – a knowing in which one is affected by one's surroundings perhaps even more than one affects them* ». Et c'est cette dernière partie de description qui a une implication forte si l'on considère que l'agriculteur qui re-conçoit son système de culture adopte plutôt un « *witness thinking* ». L'action *dans* le système ne comporte pas seulement des incertitudes liées à l'approximation sur les lois qui expliquent son effet, mais apporte avec elle-même une part d'ignorance sur les modifications systémiques non intentionnelles qu'elle entraîne. Accepter cette *ignorance* peut être assimiler au fait de reconnaître qu'une part des incertitudes n'est pas issue d'une variabilité imprévisible dans un phénomène connu, mais bien de la non connaissance d'une partie de ces phénomènes, ce qui est parfois appelé « *unknown unknowns* » (Pellizzoni, 2005). Penser le système pour l'agriculteur devient donc trouver la manière appropriée d'agir *dans* ce système au fur et à mesure de ses actions, d'une intégration progressive de l'ignorance inhérente à la complexité du système. C'est cette intégration progressive que le processus de contextualisation présenté dans le chapitre III commence à décrire, il me semble. C'est donc une systémique qui ne répond pas à la complexité des situations et des agroécosystèmes par ce que Simon (Simon, 1957) décrit dans le concept de *rationalité limitée*, mais par l'acceptation de l'ignorance que la complexité implique sur ce que l'action réalise finalement dans le système, sur sa place au sein du système. Ce qui permet d'accepter cette ignorance, c'est l'action réalisée de l'agriculteur dans sa propre situation.

Une citation de Giono (Voyage en Italie, 1984), habilement extraite par Coutellec (2015) me permet de résumer le sens que j'ai voulu donner à ce détour bibliographique : « *Je me suis efforcé de décrire le monde non comme il est, mais comme il est quand je m'y ajoute, ce qui évidemment, ne le simplifie pas* ».

2.3 Implications pratiques et méthodologiques pour les agronomes : Décrire et expliciter le contenu d'un système de culture, ou bien permettre sa construction située par l'agriculteur ?

Les distinctions de pensées systémiques décrites ci-dessus ont des implications sur la manière dont les agronomes peuvent penser les formes de description de systèmes de culture, et la production de

ressources pour leur construction située par les agriculteurs. Comment serait-il possible de formuler, décrire, présenter, interpréter un système de culture ?

Cette question est, depuis quelques années, au cœur des préoccupations des agronomes chercheurs qui mènent des travaux sur la conception, et des agronomes conseillers. Elle a notamment fait l'objet de plusieurs études relatives au projet Ecophyto 2018. Le rapport de l'étude Ecophyto R&D formalise par exemple des niveaux de rupture dans les stratégies qui sont à la base des systèmes de culture, décrits à la fois par les types de rotation et les principes techniques mobilisés. D'autres travaux cherchent à formaliser des systèmes de culture pratiqués par des agriculteurs ou proposés par des agronomes sous la forme de représentations mobilisables (e.g. les fiches synthétiques descriptives des SCEP : des Systèmes de Culture Economes en produits phytosanitaires et Performants économiquement dans le réseau de fermes DEPHY, les exemples proposés par le guide STEPHY). Ils visent également à établir des typologies des systèmes de culture pratiqués selon des variables techniques de conduite et de stratégie (e.g., date et densité de semis, labour, la fréquence de retour des cultures, fréquence de labour, etc)(Schmidt et al., 2010). L'expérimentation de systèmes de culture innovants pose également la question des ressources qui peuvent en être extraites. Les travaux du Réseau Mixte Technologique SdCi s'intéressent actuellement à ce qui peut être transmis d'un système satisfaisant (ou non, l'échec étant également source de connaissances) à d'autres personnes que ceux qui l'ont mis en œuvre, et comment réaliser cette transmission (Petit et al., 2012). Même si l'on rencontre dans la littérature une grande diversité de manières de présenter les systèmes de culture ou leurs résultats, elles relèvent principalement de formes intégrées et exhaustives de l'ensemble formé par la rotation, les techniques appliquées et principes agronomiques mobilisés sur chaque culture. Ces présentations « complètes » résultent d'une volonté des agronomes d'insister sur la cohérence de l'ensemble des techniques, sur la prise en compte de leurs interactions.

2.3.1 Permettre une description progressive et segmentée de l'ensemble du système de culture

Pourtant, les résultats de cette thèse suggèrent que l'agriculteur qui est en situation de reconception, en train de construire un système dans un processus de changement technique, ne se réfère pas à une vision aussi globale du système de culture, en particulier parce qu'il ne peut être certain de l'effet de nouvelles techniques appliquées dans sa situation. Je propose ainsi de mieux permettre l'intégration progressive de l'action au sein d'une représentation d'un système que l'agriculteur fait évoluer au cours de son changement. **Et pour cela, paradoxalement, il faut peut-être considérer des ensembles de connaissances, qui ne décrivent pas d'emblée et de manière la plus complète possible un système de culture, mais qui seront mobilisés séquentiellement.**

Bien sûr, les descriptions des systèmes de culture en tant qu'objets incluent l'action puisqu'elles proposent des combinaisons de techniques. Mais l'action est celle qui est représentée soit dans une forme idéale derrière les spécifications de règles de décision, soit dans la description de l'ensemble des pratiques appliquées. Il me semble que la distinction entre technique et pratique (Deffontaines & Landais, 1988) reste trop implicite derrière ces outils, qui mobilisent parfois l'une (la technique dans les règles de décision, dans les effets et interactions anticipées entre techniques), parfois l'autre

(dans les typologies établies à partir des pratiques constatées), sans complètement mettre en lumière le passage de l'un à l'autre. Le « schéma décisionnel » (Petit et al. 2012) semble le faire en partie : intègre l'action en faisant figurer des éléments des modèles d'action des agriculteurs (objectifs, stratégies d'action comprenant des routines et des règles de décision pour adapter l'intervention en fonction des états de la parcelle, et des résultats attendus), qui peut être interprété comme une représentation dont l'agriculteur est passé d'une idée de technique à une mise en place de pratique dans sa situation. Mais **intégrer l'action pour l'agriculteur, c'est intégrer la part d'ignorance constitutive de la pratique dans une construction progressive et située de ce que nous, agronomes, voyons d'emblée comme systémique, mais dans un cadre idéal**. Et comme nous l'avons montré dans le chapitre III, cette construction progressive met en jeu des allers-retours entre une pensée systématique et une pensée systémique, dont le moteur est l'action réalisée ou envisagée dans une situation particulière.

Pour cela, les dynamiques décrites dans le chapitre I peuvent constituer un guide pour une construction progressive des systèmes de culture. Elles montrent en effet que la logique que l'on peut mettre derrière la notion de système de culture peut finalement et paradoxalement être fragmentée. Je ne parle pas ici d'une fragmentation qui est celle issue d'une spécialisation et d'une fondamentalisation des recherches des agronomes, qui sépare plutôt les connaissances selon les entités concernées (e.g. la plante, le sol, les domaines de gestion spécifiques). Ce que je nomme fragmentation se réfère à deux niveaux : la progressivité dans la dynamique des connaissances mobilisées pour la réalisation d'un changement technique, et la mise en application de plusieurs changements techniques de manière successive et hiérarchisée (Cf. §1). La dynamique de mobilisation des connaissances analysée dans ce travail montre que le passage des connaissances (techniques) à la pratique se fait par l'évaluation, à chaque étape de la mise en application, des conséquences de l'ignorance qu'elle apporte. De plus, cette fragmentation de la description de la logique du système de culture peut être complétée par des éléments qui n'y sont pas généralement associés (e.g. des connaissances fondamentales sur les objets naturels mis en jeu, des éléments de redéfinition des fonctions de ces objets, des connaissances sur les manières de faire se référer à des situations agronomiques pour mettre en application le système de culture). En particulier, nous avons insisté dans nos résultats sur le rôle des indicateurs sur les états du système au cours de l'application des pratiques (c'est-à-dire non pas seulement le principe décisionnel et les règles de déclenchement des actions, mais des observations utiles pour la prise de décision). Dans les représentations des systèmes de culture, il serait intéressant de faire apparaître ces indicateurs pour transmettre la manière dont les décisions ont été construites par l'opérateur du système, la logique qu'il y a derrière la combinaison des techniques appliquées telle qu'il l'a construite. Et cela amène bien au second niveau de la fragmentation que je propose : mettre en œuvre un système de culture nouveau dans une re-conception *pas-à-pas*, c'est toujours réaliser une diversité de changements interconnectés. L'agriculteur peut envisager un système de culture complet (telle que nous les décrivons nous agronomes) dont la mise en œuvre nécessiterait plusieurs changements techniques sur différents domaines de gestion de la production, mais cette « image » va évoluer selon les maîtrises acquises ou non des pratiques mises en œuvre, selon ce que ces premières mises en œuvre

feront émerger concernant les fonctions atteintes et possibles au sein du système de culture. Plus qu'une image fixe d'un système de culture, ce sont ces embranchements successifs entre changements techniques (et dynamiques de connaissances qui leur sont associées, chapitre I), que les agronomes pourraient mettre en lumière et accompagner.

C'est bien l'apport de ces ressources au cours du changement qui peut compléter des « situations potentielles de développement » lors de la re-conception par l'agriculteur.

2.3.2 Permettre le diagnostic du fonctionnement de parties du système dans la situation de l'agriculteur

De plus, les résultats du chapitre III montrent que l'hypothèse selon laquelle les agriculteurs n'ont pas une approche systémique de l'ensemble du système de culture avant de décider des actions à mener n'est pas antagoniste avec la mobilisation de connaissances fondamentales sur des processus biologiques qui ont lieu au sein de l'agrosystème. Un agronome qui accompagne la re-conception pourra ainsi apporter, en plus de descriptions de techniques innovantes, des connaissances fondamentales sur les objets biologiques, toujours en pensant qu'elles seront utiles seulement si elles sont reliées par l'agriculteur à son action passée ou possible. En effet, les processus décrits dans le chapitre III montrent que ces connaissances sont progressivement articulées avec le système de culture particulier de l'agriculteur, par la transformation d'une représentation du fonctionnement d'une partie de ce système. L'intérêt de ces processus pour la re-définition des fonctions des objets du système de culture, ou de leurs interactions m'amène à proposer que les connaissances que j'ai appelées *fondamentales* soient également à mettre en discussion par un agronome accompagnant la re-conception. **Aborder ces aspects de *fonctionnement* pour reconstruire des logiques d'interactions entre pratiques, en passant par l'intégration avec l'action située (i.e. dont les effets sont conditionnés par le contexte particulier d'action de l'agriculteur) que connaît ou qu'envisage l'agriculteur, relève d'une toute autre approche de conseil que l'apport des résultats de mesures des effets de combinaisons de techniques.** Ceci est à rapprocher des résultats de travaux davantage orientés vers l'analyse de l'activité des conseillers, qui ont proposé la distinction entre des tours de plaine « à chaud » et des tours de plaine « à froid » (Cerf et al., 2010; 2011, voir aussi la thèse de M.N. Guillot 2015). Alors que les premiers sont réalisés au printemps, essentiellement pour guider la décision, les seconds sont réalisés à l'automne pour interpréter les signes des dynamiques d'évolution des parcelles en retrait du besoin immédiat de décider. Ce décalage d'un tour de plaine orienté vers la décision, vers celui orienté vers le diagnostic des fonctions à identifier et maintenir dans le système. Ainsi, je propose que la forme très épurée de charge mentale qu'apportent les ressources cognitives associées aux techniques curatives (e.g., règles de décision avec seuils de déclenchement, identification objective des problèmes et des incertitudes) ne soit pas remplacée par une approche liée au préventif (comme c'est très souvent suggéré en références aux techniques prophylactiques mobilisées en AB), mais par une approche *compréhensive*. Certes, celle-ci entraîne inévitablement une charge mentale plus grande, mais elle offre à l'agronomie d'autres perspectives

de développement, par exemple pour intégrer la flexibilité nécessaire à une prise en charge de la complexité³⁰.

Il me semble intéressant de rapprocher cette hypothèse des travaux de McCown et al. (2012). Leurs recherches ont porté sur le rôle que peuvent avoir des modèles de simulation à l'échelle de l'exploitation dans l'action de l'agriculteur (en particulier dans la gestion des ressources en eau et l'adaptation de la conduite des cultures à la variabilité du climat). Ces auteurs montrent que les agriculteurs ont fortement bénéficié (et ont été moteurs dans la réalisation de mesures de dynamiques hydriques dans les parcelles) de l'usage de simulations prospectives (de probabilité de conditions climatiques et de prévisions de rendements qui en sont fonction). Cependant, à l'issue du projet, ils concluent sur le fait que ces modèles complets ne sont plus utilisés en routine. Les agriculteurs, par leur utilisation, ont renouvelé les indicateurs (ou le sens d'interprétation d'indicateurs utilisés auparavant) inclus dans des règles d'action, via la compréhension de nouveaux liens de causalité et la transformation de leurs « *modèles mentaux* ». Les auteurs proposent d'interpréter cette dynamique comme des allers-retours entre un pôle de l'intuition et un pôle de l'analyse : « *Movement on the cognitive continuum toward analysis is induced by felt task need for analysis plus a new analytical mental model that better supported analysis. Movement in the opposite direction, toward intuition, is induced by an interpretation of the task in which satisficing provides a "good enough" solution* ». Les situations et les processus de changement étudiés par ces auteurs sont trop différents de ceux traités dans cette thèse pour que je continue ici le parallèle. Néanmoins, il me semble que davantage de comparaison entre les résultats de cette thèse et les travaux de McCown, et plus largement de recherche-action mobilisant les outils de simulation, permettrait d'identifier davantage de pistes de recherche à partir des similitudes majeures.

2.3.3 Une proposition concrète pour les bibliothèques de techniques innovantes

Très concrètement, cela permet de faire **des propositions concernant des ressources pour la reconception que sont les bibliothèques de techniques innovantes** (e.g., Guichard et al., 2015) et notamment sur leur formalisation (très variée entre les exemples cités), qui est une question actuellement au cœur de nombreux projets de recherche. Une technique agronomique (j'illustre tout au long de cette description par l'exemple des associations céréales-légumineuses) pourrait être formalisée via :

- i) des éléments de raisonnement agronomique tels qu'ils sont caractérisés dans l'outil de catégorisation des connaissances proposé dans le chapitre I, pour mieux contribuer à la première étape du changement technique décrite dans le même chapitre (e.g. mécanismes de compétition, complémentarité, facilitation sur l'utilisation des ressources; fonctions de fertilisation azotée de la légumineuse ; dilution des sensibilités aux maladies dans la mosaïque du couvert végétal, etc),
- ii) des dimensions de la situation déterminantes pour contextualiser les processus biologiques (ce qui relève d'une autre démarche de contextualisation que la description sommaire des

³⁰ Tout en étant conscient que cela remet en cause les distinctions entre logiques d'utilisation et de fonctionnement (Richard, 1983), comme cela a déjà été discuté dans le chapitre III.

- situations – par exemple selon les types de sols ou les grandes régions – dans lesquelles la technique « fonctionne »)(e.g. l'influence de la teneur en azote du sol ou du microclimat, et notamment de la durée et de l'intensité des gelées selon les légumineuses choisies, sur les dynamiques de croissance relatives de chaque espèce),
- iii) différents niveaux de description de la mise en application des principes agronomiques qui mobilisent ces processus biologiques (e.g. associations en général, associations céréales-légumineuses, associations blé-pois, associations blé-pois d'hiver, etc. densité de chaque espèce...) auxquels correspondent des indicateurs spécifiques et des objectifs possibles de l'agriculteur,
 - iv) des témoignages pour le niveau le plus fin (e.g. le récit de l'expérience d'un agriculteur qui a cultivé une association blé-pois d'hiver avec une combinaison spécifique de techniques de semis, sur un sol argilo-calcaire, etc).

2.4 Limites

Pour comprendre comment sont pris en compte les aspects systémiques dans les changements techniques orientés vers la re-conception des systèmes de culture, un aspect évident pour l'agronome est de s'intéresser aux interactions entre différentes techniques. Dans la catégorisation des connaissances proposée dans le chapitre I, ces interactions ne sont retranscrites que par les références à la situation, et indirectement par les interactions entre fonctions faisant partie de la catégorie « raisonnement agronomique ». Or la façon dont les agriculteurs mobilisent des connaissances sur ces interactions, ou la façon dont ils les appréhendent dans leur propre système de culture, aurait pu faire l'objet du même développement que celui réalisé sur les indicateurs. Nos résultats concernant les indicateurs, ainsi que la construction d'un modèle de fonctionnement situé d'une partie du système, abordent cette question indirectement, mais ne permettent pas d'y répondre complètement.

D'autre part, la méthodologie mise en œuvre ne permet pas d'aboutir à une représentation complète des raisonnements systémiques (représentations que vont par exemple essayer de faire expliciter les anthropologues de la connaissance). Le fait de focaliser les entretiens semi-directifs sur quelques changements techniques seulement amène à centrer les explicitations de raisonnements agronomiques autour de domaines de gestion spécifiques. Cela peut, par là-même, engendrer un biais dans les composantes de l'agrosystème évoquées par l'agriculteur. Cependant, l'objectif de ma recherche était bien davantage de donner une interprétation des processus qui amènent les agriculteurs à transformer des représentations systémiques dans les situations de re-conception *pas-à-pas*, qu'à formaliser et construire une typologie des modèles de fonctionnement. Dans le chapitre III en particulier, l'hypothèse est simplement faite que ce type de représentation existe pour décrire les processus qui participent à leur construction. En revanche, rien ne permet de conclure sur la structure de cette représentation, ni sur l'exhaustivité des composantes qu'elle met en jeu.

Une limite à la généralité de la systémique qui est décrite dans ce paragraphe existe également dans la diversité restreinte des situations de re-conception qui ont été étudiées. En effet, le choix des situations de re-conception *pas-à-pas* biaise sans doute la vision « progressive » que je propose ici

pour comprendre comment se construit une systémique pour l'action. Est-ce que ces processus sont généralisables pour d'autres situations dans lesquelles on agit également sur un système et où une approche intégrée peut être mise en jeu ? Par exemple, est-ce que la même systémique aurait été mise en évidence à partir d'une situation d'installation d'un agriculteur qui a envisagé un système de culture *a priori*? Toutefois, il est possible de faire l'hypothèse que les processus d'intégration de l'action dans une construction progressive du système par l'agriculteur sont autant liés aux caractéristiques génériques de l'action dans le domaine agricole (e.g. longs délais d'établissement des effets de l'action, modulations de ces effets par l'impact imprévisible du climat) qu'à une dynamique de re-conception. Dans ce cas, il est probable que même suite à une installation s'établiront des processus d'adaptation (équilibre entre l'assimilation de nouvelles connaissances aux schèmes préexistants, et accommodation des schèmes pour pouvoir intégrer de nouvelles connaissances, pour reprendre les termes de Piaget (1974)). Le temps est toujours partie intégrante du lien que nous cherchons à éclairer entre connaissances et action.

J'ai proposé jusque ici des pistes de renouvellement des manières d'aborder la re-conception menée par l'agriculteur d'une part, et la construction d'une pensée systémique dans l'action de changement d'autre part. Ces pistes sont issues des résultats de ma démarche de recherche, orientée avant tout vers les mobilisations de connaissances agronomiques. Je vais donc rendre compte plus précisément des particularités de cette démarche, des intérêts et limites d'une analyse basée sur les contenus de connaissances.

3 UN REGARD SUR LES CONTENUS DE CONNAISSANCES : LES LIMITES D'UNE TELLE ENTREE DANS LES PROCESSUS DE MOBILISATION ET DE CONSTRUCTION DE CONNAISSANCES.

3.1 Une approche par les « contenus » et leur signification agronomique

La posture d'agronome adoptée dans cette thèse m'a amené à observer les mobilisations, échanges, transformations, constructions de connaissances en portant une attention particulière aux « contenus ». **Je n'ai donc pas focalisé l'analyse sur la manière dont sont produites les connaissances mais plutôt sur leur mobilisation. Ce choix répondait à l'objectif de comprendre comment celui qui mobilise la connaissance la transforme ou l'intègre dans une capacité d'action. Il répondait également à la volonté de produire des heuristiques pour les agronomes sur les connaissances à produire pour équiper l'action.** Néanmoins, ce regard sur les connaissances, peu commun dans le domaine agricole il me semble (Cf. partie Problématique), peut être discuté au regard des angles morts qu'il implique. Par exemple, il ne rend pas explicites les « supports » et « sources » de ces connaissances, qui sont combinés aux contenus dans le travail de Magne (2007) sur les systèmes d'information des agriculteurs. D'autre part, il peut être critiqué d'attribuer une trop grande importance aux connaissances explicitées, en partie au dépend des connaissances tacites.

J'essaye ici de discuter les apports d'une approche des contenus, son caractère finalement non statique, et les retours permis vers les dimensions des activités cognitives mises en invisibilité au départ.

3.1.1 Une catégorisation spécifique à la re-conception pour guider et organiser des échanges de connaissances

Tout d'abord, les résultats montrent qu'il est possible de catégoriser les connaissances d'une manière pertinente pour analyser l'action de changement technique, pour une diversité d'agriculteurs, mais également pour une variété (même restreinte et orientée vers l'agroécologie dans mon cas) de changements techniques. Une analyse des connaissances par les contenus et leur sens agronomique n'est donc pas obligatoirement confinée aux particularités de cas individuels ou techniques. Ceci est permis, il me semble, par ce qu'Avenier (2009a) appelle une généralisation « *verticale* », qui relève plus de la conceptualisation que de l'extension contrôlée d'un domaine de validité, et que nous avons développé dans les résultats du chapitre I. **La caractérisation des connaissances que je propose, orientée vers leur capacité à s'insérer dans des processus de mobilisation pour l'action de changement technique, me semble être un moyen de compléter une approche des connaissances qui serait soit complètement ancrée dans les particularités d'un cas technique ou d'un développement technologique spécifique, soit réduite à la mobilisation de cadres théoriques trop génériques pour traduire des implications spécifiques au domaine agricole** (Cf. §3 de la partie Problématique). D'ailleurs, la construction de l'outil de catégorisation des connaissances part d'un socle théorique spécifique des situations de re-conception de systèmes de culture, comme nous le présentons dans le chapitre I.

Toutefois, et il est important de le souligner pour préciser la fonction heuristique que je donne à cet outil, il est difficile d'établir un niveau d'abstraction et de conceptualisation homogène pour décrire l'ensemble des connaissances au sein des catégories proposées. Par exemple, dans le Table 8, la catégorie des connaissances sur les incertitudes juxtapose dans un même niveau de conceptualisation « limites d'une technique », « ignorance à propos d'une technique », « sensibilité », « probabilité liées aux résultats (pertes, échecs) ». Des superpositions plus ou moins importantes ou des inclusions sont sans doute discutables du fait d'une hétérogénéité dans les niveaux d'abstraction et de conceptualisation (e.g. est-ce que les limites d'une technique n'incluent pas les facteurs de sensibilité qui ne permettront pas de l'utiliser dans certaines situations ?). **Ainsi, Le cadre théorique qui a été proposé n'est en aucun cas figé, et reste susceptible d'évoluer par une mise en confrontation à d'autres situations. Ce n'est pas non plus un modèle d'articulation des connaissances, mais plutôt un support pour guider l'identification de ces articulations en train de se construire. En effet, son intérêt pour l'agronome conseiller est de rendre capable de préciser, dans une situation de changement particulière, ce que peuvent être les connaissances à mettre en discussion, en s'appuyant pour cela sur des repères plus précis que ceux qu'apportent les cadres théoriques distinguant des connaissances *procédures*, des connaissances *déclaratives*, des connaissances *opératives*.** Pour l'illustrer, je ferai un commentaire sur quelques attributs en particulier. Certains me semblent être à relever, notamment dans le format du témoignage d'agriculteur rapportant une expérience vécue personnelle. Les références aux situations que les témoignages comportent majoritairement sont particulières dans le sens où elles concernent autant les caractéristiques pédoclimatiques et biophysiques des environnements de son exploitation que les

analogies entre problèmes rencontrés et stratégies adoptées pour les traiter, et l'historique des pratiques appliquées sur un temps long. En plus des modes opératoires plus ou moins précis décrivant l'application des pratiques, ces témoignages comportent également des précisions sur les fonctions que les agriculteurs associent aux objets (e.g. un couvert d'interculture n'est pas vu simplement comme un piège temporaire à nitrate, mais comme une plante contribuant à la gestion des adventices. Ceci amène un autre agriculteur à comprendre l'intérêt des mélanges d'espèces et du fait d'obtenir un volume et des superpositions d'horizons de végétation).

En tant qu'apport pratique pour l'agronome conseiller, cette caractérisation de contenus de connaissances donne des repères pour être capable d'identifier ce qui se passe dans des échanges de connaissances, de les compléter éventuellement pour les rendre constructifs. Les éléments constitutifs des témoignages décrits ci-dessus ne sont pas souvent présents dans les documents techniques. Ainsi, si une connaissance est apportée pour proposer une technique relevant d'une logique agronomique nouvelle, et que cette logique nécessite de revoir les places et fonctions attribuées aux objets, alors il faut également apporter des connaissances pour permettre ces réorganisations. Le fait que ces éléments soient rassemblés et organisés dans des témoignages fait écho à des travaux de didactique professionnelle sur les mobilisations du langage pour le développement. Les débriefings, formats génériques correspondant à l'analyse rétrospective de sa propre activité, dans lesquels une attention particulière est portée à l'énoncé des buts et des moyens mis en œuvre pour atteindre ces buts, permettent de passer « *du récit à l'intrigue* », c'est-à-dire de dégager l'intelligibilité d'une suite d'actions en montrant et en distinguant les « *événements fortuits et [les] enchaînements nécessaires* », les « *relations de causalité, [les] relations de finalité et [les]hasard[s]*. » (Pastré et al., 2006). Même si chaque témoignage reste inscrit dans la singularité de la situation à laquelle il renvoie, nous avons vu dans le chapitre III qu'il formalise une expérience qui est réinterprétée et redéfinie, à la fois par le témoin lui-même mais aussi par le dialogue avec les autres agriculteurs. De plus, ces résultats ont montré la manière dont se reconstruisent des causalités en particulier autour de la mobilisation de connaissances fondamentales, et ainsi se construisent des modèles de fonctionnement d'un bout du système à partir d'éléments généralisés. Le rôle des témoignages dans notre analyse corrobore donc l'importance pour les agriculteurs d'une prise de « *distance par rapport à leurs propres actions, distance indispensable à l'analyse* » (ibid.). Les résultats confirment bien, dans le domaine agricole, que « *la confrontation, d'une part, aux savoirs objectivés [...], d'autre part, aux interprétations alternatives proposées par autrui [...] devraient favoriser :i) l'élargissement des perspectives, voire le recadrage par la prise en compte des multiples paramètres de la situation ; ii) la mise en évidence de régularités et de différences ; iii) l'identification de ce que Pastré appelle la structure conceptuelle de l'action professionnelle* », et que « *Ces processus aideraient à passer d'une causalité locale et restreinte liée à la seule interprétation du sujet à une causalité plus systémique et à des hypothèses de généralisation* » (Beckers, 2008).

Cela m'amène à encourager les formats de conseil ou de réflexion collectifs qui permettent de faire émerger ces témoignages, qui ont déjà été largement mis en avant dans les travaux liés à l'agroécologie (Berthet et al., 2015; e.g., Warner, 2007, 2008b). Alors que ces travaux développent, comparent et attestent l'efficacité de ces formats pour permettre des apprentissages collectifs, ils proposent rarement (et principalement en termes d'origine des connaissances explorées) une

analyse précise des connaissances qui sont effectivement échangées et construites. Au-delà de montrer l'intérêt des témoignages, mon travail permet d'en repérer les caractéristiques de connaissance spécifiques qu'un conseiller pourra utiliser comme repère pour aider à formaliser et compléter les récits d'expériences personnelles. Cela est en effet abordé par les connaissances que nous spécifions ci-dessus dans les témoignages, dans la manière dont l'apport de connaissances génériques en rapport avec l'expérience racontée permet d'extraire de l'expérience des connaissances décontextualisées et remobilisables par d'autres agriculteurs.

3.1.2 D'une analyse des contenus à celle des dynamiques de mobilisation et de transformation des connaissances

Alors qu'on pourrait croire que cette focale portée sur des *contenus* résulte en une approche essentiellement statique des connaissances, les différents résultats de la thèse montrent qu'elle ne s'y réduit pas. D'ailleurs, cette approche par les contenus n'efface pas que, derrière le terme « connaissance », est évoquée toute une diversité de choses et d'actions. Elle ne pose pas non plus que décrire une connaissance revient à délimiter un contenant et un contenu. Quand en philosophie, on pose « je sais que p », 'p' désigne la plupart du temps un fait, une proposition logique. Mais cela pose d'emblée le problème que « savoir que p » est elle-même une proposition qui dépend complètement de ce qu'est 'p'. « Connaître » représente une multitude de types d'actions, ou d'états mentaux. Aussi, dans cette thèse, le pari de s'intéresser aux *contenus* de connaissances vise bien autre chose qu'une description des connaissances comme des propositions à transmettre et qui pourront être stockées, organisées, rappelées par un acteur, ou « passées » efficacement auprès des agriculteurs pour un changement technique précis. **Les distinctions que permet de construire une analyse des contenus ont été orientées vers l'analyse de dynamiques de mobilisation et de transformation de connaissances, et je souhaite discuter ici la pertinence de démarrer par une approche des contenus pour être capable d'aborder la complexité des dynamiques ensuite.**

Ces dynamiques, dans les résultats de cette thèse, apparaissent sous plusieurs formes. Tout d'abord, elles sont présentes dans l'évolution des connaissances mobilisées au cours de l'action de changement qui a permis de redéfinir (c'est-à-dire proposer une interprétation alternative) les étapes du changement technique mis en application par l'agriculteur (Cf. Partie 3, Chapitre I -).

D'autre part, une dynamique apparaît dans une adaptation des schèmes permise par la mobilisation de nouvelles connaissances ou la réinterprétation d'acquis antérieurs. En effet, les fonctions et la diversité des indicateurs identifiés (Partie 3, Chapitre II -) soulignent que, dans le cas du changement technique, l'évolution de la situation amène à mobiliser les indicateurs à la fois pour établir des inférences sur l'action à mener, mais aussi pour confirmer, infirmer, modifier des interprétations liées aux concepts en acte et théorèmes en acte tenus pour vrais jusqu'alors. En cela, il me semble que c'est bien une évolution des schèmes d'action qui est en jeu, et qui est appréhendable par une analyse de contenus. Toutefois, les résultats de cette thèse ne vont pas jusqu'à répondre à des questions que pose cette accommodation des schèmes au cours de changements dans l'activité : « *sur quels schèmes plus anciens un schème nouveau s'appuie-t-il ? En quoi ces schèmes anciens font-ils éventuellement obstacle ?* » (Pastré et al., 2006).

Enfin, comme le ferait une étude des apprentissages, l'analyse des connaissances mobilisées *dans* le changement cherche à décrire un développement chez l'agriculteur, qui implique une approche dynamique des contenus cognitifs. **Mais ce travail diffère bien d'une étude de contenus d'apprentissages : il renvoie à des modes d'organisation des connaissances dans un processus de mobilisation qui permet de construire et de faire évoluer un raisonnement agronomique au cours de l'action. C'est ce que nous décrivons dans le chapitre III, dans le cas des connaissances fondamentales génériques sur des objets biologiques.**

En résumé, même en partant avec l'idée de pouvoir caractériser des contenus d'échanges de connaissances, ce sont bien des processus qui ont été mis en lumière. Cet accent mis tout au long de ce travail sur l'aspect dynamique inhérent à une étude des connaissances liées à l'action de changement rend inappropriée la description (sans fin) d'oppositions entre formes de connaissances (dont la plus classique est celle qui oppose connaissances scientifiques et connaissances expertes). Il mène bien davantage à s'intéresser à ce qui détermine et définit les dynamiques de mobilisation, de contextualisation, de reconfiguration des connaissances. Je propose la notion de *parcours épistémique* pour rendre compte de cette dynamique et pour argumenter sur l'intérêt d'avoir une approche réflexive sur les connaissances à produire. Ce qui reste à mieux savoir identifier, ce sont les jalons successivement parcourus par les agriculteurs comme par les agronomes dans leurs processus d'enquête. Le repérage, la mise en lumière de tels jalons seraient précieux par exemple, dans une démarche de recherche participative dialogique, comme la co-construction d'outils d'aide à la décision. Le degré de conceptualisation des contenus de connaissances que nous proposons me semble pouvoir y jouer un rôle, et permettre d'éviter les écueils de confrontations d'ontologies (ex. Demeulenaere, 2014) ou de valeurs, en commençant à les traduire dans un registre technique légitimement au cœur des interactions entre agronomes et agriculteurs. Alors que plusieurs auteurs appellent à une responsabilité épistémique basée sur la reconnaissance des valeurs et de leur rôle dans les stratégies de recherche (voir par exemple Alrøe & Kristensen, 2002; Coutellec, 2015), il me semble qu'il est éminemment nécessaire d'être capable de rendre compte de la manière dont les valeurs non épistémiques influencent les *parcours épistémiques*, dans une approche dynamique.

3.2 Limites

Dans les deux premiers chapitres de résultats de cette thèse (chapitres I et II), le travail réalisé sur les fonctions et les attributs rend l'analyse très descriptive. Dans un premier temps, je ne replace pas ces éléments décrits dans un ensemble organisé pour expliquer une logique de l'action à partir de ces éléments. Par exemple, je ne reconstruis pas les structures conceptuelles de la situation que sont les mises en réseaux d'indicateurs, de variables et de concepts pragmatiques liés à une classe de situation d'action (Pastré, 2002) pour des types de changement technique, ni les modèles opératifs des agriculteurs que j'enquête. Je discuterai ce choix sur l'exemple du schème, dont le travail ne vise pas à décrire tous les constituants pour une classe de situations, mais plutôt à utiliser chaque type de constituant pour viser l'analyse des relations entre eux (ce qu'implique de les regarder en même

temps)³¹. C'est ce que j'ai cherché à faire, d'une part en construisant des cadres heuristiques de catégorisation pour identifier ces constituants (en particulier dans les chapitres I et II), et d'autre part en analysant la manière dont ils se coordonnent (chapitre III).

Dès lors qu'une approche descriptive soutient le reste de l'analyse, j'ai été confronté aux différents niveaux de détail auxquels je pouvais accéder sur les connaissances. Par exemple en ce qui concerne les connaissances sur les incertitudes et en particulier les probabilités de ne pas obtenir l'effet de l'action visé, je n'ai pas toujours pu distinguer si elles se référaient à des propositions (ou des raisonnements reconstruits d'après les verbalisations) du type « X chances sur Y de ne pas avoir l'effet souhaité, ou X années sur Y ça ne marche pas », ou bien « une année moyenne il y a X% de probabilité de réussite ». Or cela peut avoir son importance, comme le souligne Hardaker (2000) : différentes définitions données au risque impliquent des manières très différentes de le mesurer. Une partie de cette nuance peut être déduite des indicateurs mobilisés, mais il reste une exploration à produire, qui ne porterait pas que sur les verbalisations, mais sur le test d'alternatives avec une catégorisation *a priori*. J'ai développé ici l'exemple des connaissances sur les incertitudes, mais ces difficultés à stabiliser un niveau de détail ont porté sur la majorité des catégories de l'outil de caractérisation présenté dans le chapitre I. C'est la raison pour laquelle la colonne correspondant au plus fin niveau de détail a été conservée dans le Table 8, même si elle n'est que peu utilisée dans l'analyse qui a suivi.

Je propose deux hypothèses quant au « manque » de détail qui m'a frustré à de nombreuses reprises dans mon observation : i) les agriculteurs n'ont pas besoin du même niveau de détail dans la formulation des connaissances que moi (agronome) pour les légitimer ou les replacer dans un raisonnement agronomique. La construction des références précises peut en effet être considérée comme majoritairement individuelle (car ce sont celles qui sont mobilisées pour construire l'action), alors que l'agencement des principes agronomiques et des points d'attention nécessaires dans la situation ne l'est pas forcément en raison de leur plus grande généralité selon les agriculteurs ; ii) le niveau de détail fin que je n'ai pas toujours pu obtenir correspond pour une grande partie à des choses relevant de ce qui reste tacite, ce qui est de toute façon embarqué dans l'action.

Ces hypothèses suggèrent selon moi des questions très intéressantes pour continuer à transposer au cas de l'activité agricole des cadres d'analyse des connaissances (e.g., l'opposition tacite – explicite) qui restent difficile à mobiliser directement par des agronomes. Je considère que ce premier travail forme une base pertinente pour adopter des démarches davantage expérimentales (e.g., tester les possibilités de mobilisation d'une diversité pré-organisée de connaissances pour un changement technique précis) pour tester ces hypothèses. En effet, il fournit des repères pour construire des ensembles de connaissances dont on veut observer les potentialités d'intégration dans un processus de construction de sens pour le changement par l'agriculteur (ce qui a été commencé dans les ateliers de partage de connaissances), ou bien le développement d'outils de partage de connaissances en co-conception.

³¹ C'est par exemple ce qu'affirme Mayen dans une contribution au 3^{ème} colloque international de didactique professionnelle intitulé « Conception et Formation » (28-29 octobre 2014, Caen, France) (présentation consultable à l'adresse : <http://didactiqueprofessionnelle.ning.com/page/archives-publiques>).

4 PERSPECTIVES POUR POURSUIVRE DES RECHERCHES SUR LES CONNAISSANCES AGRONOMIQUES UTILES A L'ACTIVITE DES AGRICULTEURS

Si l'on considère que l'approche développée dans ce travail mérite d'être poursuivie, en particulier dans la manière dont ont été abordées les connaissances, il me semble qu'elle devra dépasser une limite contingente de la méthode de recueil et de traitement des données, transversale aux trois axes de discussion développés dans cette partie. En effet, en s'orientant essentiellement vers les *contenus* de connaissances, l'analyse a porté une bien moindre attention aux « canaux » de traduction et aux voies d'acquisition des connaissances qui peuvent influencer sur les processus de légitimation et d'appropriation par l'agriculteur (Compagnone, 2014; e.g. Magne et al., 2011).

Dans mes observations, je focalise essentiellement sur les dynamiques de mobilisation de connaissances liées aux explications d'ordre *agronomique*. Cela passe sous silence les dimensions humaines que sont les valeurs, les croyances et les hiérarchies de buts assignés à l'activité, les sens donnés au métier d'agriculteur. Pourtant, elles ont une grande influence sur les connaissances et les actions choisies. Elles expliquent sans doute une part de l'irrégularité dans les processus que j'ai cherché à formaliser (e.g. les profils de connaissances identifiés pour les différents agriculteurs dans le chapitre I, Figure 4, montrent une grande hétérogénéité derrière la tendance générale qui en a été extraite).

Ces limites confèrent aux résultats de ce travail un caractère de propositions heuristiques pour travailler et comprendre les situations de re-conception en élargissant le champ des dimensions de l'activité cognitive et sociale de l'agriculteur prises en compte. C'est le propre, selon moi, d'une pensée systémique : penser certains niveaux de détails, d'embranchements de concepts ou de faits (qui correspondent à une délimitation choisie consciemment d'un système, et qu'on sait ne pas être une délimitation concrète dans la réalité mais bien un outil de pensée), en admettant la part d'inconnu qui vient de tout ce qui va relier ce sous-système aux dimensions qui l'englobent, et qu'il faudra prendre en compte pour déterminer une progression satisfaisante de l'enquête et de l'action dans le système.

En particulier, il serait intéressant de coupler ce travail avec une approche de l'activité informationnelle que Magne (2007) décrit comme « *l'ensemble des tâches d'organisation et de déploiement des ressources informationnelles mobilisées par l'individu pour la maîtrise et le développement de son activité de travail et pour son propre développement* ». Elle intègre bien davantage les sources et supports des ressources cognitives dans l'analyse, la relation à la finalité, le rôle des dimensions sociales, personnelles, dans la construction du projet de production et des processus de décision.

D'autre part, ma démarche peut donner l'impression que tous les agriculteurs procèdent selon les mêmes dynamiques de mobilisation de connaissances, selon les mêmes processus de contextualisation de nouvelles connaissances. Je n'ai, en particulier, pas construit de typologies au sein de ces processus, permettant d'en préciser la description mais aussi d'associer une démarche qu'un conseiller pourrait observer chez un type d'agriculteur pour adapter son conseil. Ce sont des

stratégies qui ont été adoptées dans des travaux similaires aux miens, comme ceux sur les apprentissages (Chantre, 2011) ou sur le développement des mondes professionnels (Coquil, 2014). Cerf (1996), dans la distinction entre connaissances techniques et connaissances pratiques, retient qu'un socle commun peut être identifié concernant les connaissances techniques, mais que les connaissances pratiques sont sources de variation pour les agriculteurs. Pour transposer ce constat au niveau des processus que j'ai étudiés dans cette thèse, je dirais que l'on peut identifier des processus communs de mise en relation des connaissances génériques avec le système particulier de l'agriculteur (Cf. article III), mais que rien ne permet de dire comment chacun les organise dans son propre cas, ou bien passe plus par l'un que par l'autre. Plus généralement, les travaux de didactique professionnelle ont souvent fait état de différences dans les modèles d'apprentissage, qui impliquent chacun leur mobilisation de connaissances. Beckers (2008) repère ainsi des niveaux différents de conceptualisation sur l'action dans le récit de stagiaires en sciences de l'éducation, même si l'auteure précise que le but de l'analyse n'est pas d'établir une typologie, mais « *de repérer d'éventuelles relations entre des caractéristiques de leurs démarches respectives, dans l'action professionnelle et à différents moments de leur processus de conceptualisation après cette action* ». D'une manière synthétique, Pastré (2011a) oppose les modèles d'apprentissages des professionnels qui vont acquérir une maîtrise de leur environnement ou outil de travail soit par un mouvement d'épistémisation, soit par un mouvement de pragmatisme, même si les deux processus sont très liés. Les processus de mobilisation de connaissances en particulier pour le changement technique en situation de re-conception pas-à-pas de systèmes de culture ne m'amènent pas à traiter directement de ces différences, mais fournissent un cadre pour mieux les comprendre, et donc un outil pour le conseiller qui souhaite adapter son interaction avec l'agriculteur, en l'aidant à repérer les connaissances mobilisées. D'autre part, un autre usage de l'outil de catégorisation développé dans le Chapitre I pourrait très bien être orienté vers l'analyse, à une échelle plus individuelle, des particularités des dynamiques de mobilisation de connaissances, notamment en s'intéressant au niveau de détail le plus fin proposé dans le Table 8 qui permettrait sans doute de faire davantage apparaître et contraster les singularités.

Ainsi, je suggère que les cadres construits dans cette thèse permettent de travailler au niveau des individus parce qu'ils mettent en lumière les processus de mobilisations de connaissances, d'organisation et de contextualisation des connaissances, même s'ils n'ont pas été définis au départ pour cibler ces singularités. La manière de mobiliser les différents cas visait effectivement à extraire des singularités des caractéristiques génériques, et non à préciser des critères déterminants de description de ce qui fait singularité. En effet, si les outils proposés dans cette thèse amènent à ce que j'appelle des *parcours épistémiques*, ils n'empêchent en rien de prendre en compte le fait que ces parcours ne se construisent pas, chez chaque agriculteur, de manière complètement isolée. C'est un parcours qui est encouragé et dynamisé par la mise en réseau et les échanges entre agriculteurs qui re-conçoivent, qui mettent en jeu des interactions que les choix de conceptualisation des connaissances dans ce travail peuvent permettre de mieux tracer. Certains agriculteurs vont davantage échanger avec des techniciens de coopératives, avec des conseillers de chambres d'agriculture, d'autres vont surtout consulter leurs pairs d'un même groupe professionnel local – ce

que Chantre (2011) associe à des styles d'apprentissages différents –; les informations provenant d'une source ou d'une autre ne seront pas validées de la même façon. Mais généraliser une conclusion quant à un canal plus efficace qu'un autre, une forme de traduction plus adéquate qu'une autre pour la validation de la connaissance est d'emblée confrontée à l'irréductible diversité des comportements socio-cognitifs des agriculteurs. Une voie pour une interprétation partielle des appropriations et validations de connaissances est de passer par les contenus : ils permettent en partie d'expliquer, dans le processus, pourquoi certains contextes de communication et de transmission de savoirs sont plus efficaces pour permettre et accompagner l'action.

J'espère donc avoir proposé le début d'une démarche qui amène un renouvellement de la façon dont les agronomes abordent les questions de « connaissances ». Une démarche qui, n'entrant pas directement dans les confrontations de valeurs, de finalités de l'activité (entre scientifiques et agriculteurs), de formes de connaissances – confrontations qui cristallisent les difficultés d'une « application » des savoirs agronomiques mais qui restent souvent stériles–, permet d'envisager les complémentarités entre des parcours épistémiques qui resteront riches de leurs particularités et de leurs diversités, mais dont la mise en lumière nécessitera encore le développement d'un outillage par et pour les agronomes. Puisque finalement ce qui nous importe, à nous agronomes, est bien que l'agriculteur acquière une capacité d'action et d'adaptation pour continuer son activité vers une finalité dont la définition et son évolution relèvent d'une réalité bien plus large que celle que l'agronome peut impartialement déterminer.

Références Bibliographiques

- Adler, E., & Haas, P. M. (1992). Conclusion: epistemic communities, world order, and the creation of a reflective research program. *International organization*, 46(01), 367–390.
- Affholder, F., Jourdain, D., Quang, D. D., Tuong, T. P., Morize, M., & Ricome, A. (2010). Constraints to farmers' adoption of direct-seeding mulch-based cropping systems: A farm scale modeling approach applied to the mountainous slopes of Vietnam. *Agricultural Systems*, 103(1), 51-62. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.09.001>
- Agrawal, A. (1995). Dismantling the Divide Between Indigenous and Scientific Knowledge. *Development and Change*, 26(3), 413–439. <http://doi.org/10.1111/j.1467-7660.1995.tb00560.x>
- Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form* (Vol. 5). Harvard University Press.
- Alrøe, H. F., & Kristensen, E. S. (2002). Towards a systemic research methodology in agriculture: Rethinking the role of values in science [Journal paper]. Consulté 18 septembre 2015, à l'adresse <http://orgprints.org/5/>
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1–3), 19-31. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Altieri, M. A. (2002a). Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93(1–3), 1-24. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00085-3](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3)
- Altieri, M. A. (2002b). Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93(1–3), 1-24. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00085-3](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3)
- Altieri, M. A., & Rosset, P. (1996). Agroecology and the conversion of large-scale conventional systems to sustainable management. *International Journal of Environmental Studies*, 50(3-4), 165-185. <http://doi.org/10.1080/00207239608711055>
- Altieri, M. A., & Toledo, V. M. (2005). Natural resource management among small-scale farmers in semi-arid lands: Building on traditional knowledge and agroecology. *Annals of Arid Zone*, 44(3/4), 365.
- Amalberti, R. (1992). *Modèles d'activité en conduite de processus rapides : implications pour l'assistance à la conduite*. Paris 8.
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological review*, 89(4), 369.
- Archer, B. (1979). Design as a discipline. *Design Studies*, 1(1), 17–20.
- Argyris, C. (1993). *Knowledge for Action: A Guide to Overcoming Barriers to Organizational Change*. Jossey-Bass Inc., Publishers, 350 Sansome Street, San Francisco, CA 94104 (\$29.95).
- Argyris, C. (1995). *Savoir pour agir. Surmonter les obstacles à l'apprentissage organisationnel*.

- Argyris, C. (1996). Actionable Knowledge: Design Causality in the Service of Consequential Theory. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 32(4), 390-406. <http://doi.org/10.1177/0021886396324004>
- Argyris, C. (2000). *The relevance of actionable knowledge for breaking the code*. (M. Beer & N. Nohria, éd.). Boston: Harvard Business School Press.
- Avenier, M. (2009a). Franchir un fossé réputé infranchissable : construire des savoirs scientifiques pertinents pour la pratique. *Management & Avenir*, 30(10), 188-206. <http://doi.org/10.3917/mav.030.0188>
- Avenier, M.-J. (2009b). A METHODOLOGICAL FRAMEWORK FOR CONSTRUCTING GENERIC KNOWLEDGE WITH INTENDED VALUE BOTH FOR ACADEMIA AND PRACTICE, 39 p.
- Avenier, M.-J., & Schmitt, C. (2007). Elaborer des savoirs actionnables et les communiquer à des managers. *Revue française de gestion*, 33(174), 25-42. <http://doi.org/10.3166/rfg.174.25-42>
- Baars, T. (2011). Experiential Science; Towards an Integration of Implicit and Reflected Practitioner-Expert Knowledge in the Scientific Development of Organic Farming. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 24(6), 601-628. <http://doi.org/10.1007/s10806-010-9281-3>
- Baldi, I., Cordier, S., Coumoul, X., Elbaz, A., Gamet-Payraastre, L., & Le Bailly, P. (2013). Pesticides effets sur la santé expertise collective synthèse et recommandations. *Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale)*, 22-34.
- Barrios, E., Delve, R. J., Bekunda, M., Mowo, J., Agunda, J., Ramisch, J., ... Thomas, R. J. (2006). Indicators of soil quality: A South-South development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. *Geoderma*, 135, 248-259. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.12.007>
- Bayazit, N. (2004). Investigating design: A review of forty years of design research. *Design issues*, 20(1), 16-29.
- Beckers, J. (2008). CHAPITRE 15. Conceptualiser ses pratiques professionnelles: un complément à l'appropriation des savoirs de recherche? *Perspectives en éducation et formation*, 229-242.
- Béguin, P., & Cerf, M. (2004). Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception des systèmes de travail. *Activités*, 1(1), 54-71.
- Bell, M. M., Lyon, A., Gratton, C., & Jackson, R. D. (2008). Commentary: The productivity of variability: an agroecological hypothesis. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 6(4), 233-235. <http://doi.org/10.3763/ijas.2008.c5004>
- Bellon, S., & Lamine, C. (2009). Conversion to Organic Farming: A Multidimensional Research Object at the Crossroads of Agricultural and Social Sciences - A Review. In E. Lichtfouse, M. Navarrete, P. Debaeke, S. Véronique, & C. Alberola (éd.), *Sustainable Agriculture* (p. 653-672). Springer Netherlands.
- Bergeå, H. L., Martin, C., & Sahlström, F. (2008). « I Don »t Know What You're Looking for': Professional Vision in Swedish Agricultural Extension on Nature Conservation Management. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 14(4), 329-345. <http://doi.org/10.1080/13892240802416244>

- Bergez, J. E., Colbach, N., Crespo, O., Garcia, F., Jeuffroy, M. H., Justes, E., ... Sadok, W. (2010). Designing crop management systems by simulation. *European Journal of Agronomy*, 32(1), 3–9.
- Berkes, F., Colding, J., & Folke, C. (2000). Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*, 10(5), 1251-1262. [http://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1251:ROTEKA\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1251:ROTEKA]2.0.CO;2)
- Berthet, E. (2013). *Contribution à une théorie de la conception des agro-écosystèmes: Fonds écologique et inconnu commun*. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Berthet, E., Barnaud, C., Girard, N., Labatut, J., & Martin, G. (2015). How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *Journal of Environmental Planning and Management*, 1-22. <http://doi.org/10.1080/09640568.2015.1009627>
- Bertrand, M., Guichard, L., Meynard, J. M., Picard, D., & Saulas, P. (2005). Conception de systèmes de culture durables et innovants en grandes cultures: le cas de l'essai de longue durée de «La Cage» à Versailles. In *Colloque SIFEE Angers (in preparation)*.
- Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H., & Tscharrntke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 273(1595), 1715-1727. <http://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>
- Biggs, R., Schlüter, M., Biggs, D., Bohensky, E. L., BurnSilver, S., Cundill, G., ... West, P. C. (2012). Toward Principles for Enhancing the Resilience of Ecosystem Services. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), 421-448. <http://doi.org/10.1146/annurev-environ-051211-123836>
- Blackmore, C. (2007). What kinds of knowledge, knowing and learning are required for addressing resource dilemmas?: a theoretical overview. *Environmental Science & Policy*, 10(6), 512–525.
- Blaikie, P., Brown, K., Stocking, M., Tang, L., Dixon, P., & Sillitoe, P. (1997). Knowledge in action: Local knowledge as a development resource and barriers to its incorporation in natural resource research and development. *Agricultural Systems*, 55(2), 217-237. [http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(97\)00008-5](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(97)00008-5)
- Bockstaller, C., Guichard, L., Makowski, D., Aveline, A., Girardin, P., & Plantureux, S. (2008). Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(1), 139-149. <http://doi.org/10.1051/agro:2007052>
- Bonaudo, T., Bendahan, A. B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., ... Tichit, M. (2014). Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. *European Journal of Agronomy*, 57, 43-51. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.010>
- Bonnin, I., Bonneuil, C., Goffaux, R., Montalent, P., & Goldringer, I. (2014). Explaining the decrease in the genetic diversity of wheat in France over the 20th century. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 195, 183–192.
- Boote, K. J., Jones, J. W., & Pickering, N. B. (1996). Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy Journal*, 88(5), 704–716.

- Bos, A. P., Koerkamp, P. W. G. G., Gosselink, J. M. J., & Bokma, S. (2009). Reflexive interactive design and its application in a project on sustainable dairy husbandry systems. *Outlook on Agriculture*, 38(2), 137-145.
- Briggs, J. (2005). The use of indigenous knowledge in development: problems and challenges. *Progress in Development Studies*, 5(2), 99-114. <http://doi.org/10.1191/1464993405ps105oa>
- Brown, I. (2013). *Entre firme et usagers: des biens génératifs d'usages. Théorie des biens comme espaces de conception*. Paris, ENMP.
- Brugnach, M., Dewulf, A., Pahl-Wostl, C., & Taillieu, T. (2008). Toward a relational concept of uncertainty: about knowing too little, knowing too differently, and accepting not to know. *Ecology and Society*, 13(2), 30.
- Caron, P., Bienabe, E., & Hainzelin, E. (2014). Making transition towards ecological intensification of agriculture a reality: the gaps in and the role of scientific knowledge. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 8, 44-52.
- Casagrande, M., Joly, N., Jeuffroy, M.-H., Bouchard, C., & David, C. (2012). Evidence for weed quantity as the major information gathered by organic farmers for weed management. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(3), 715-726. <http://doi.org/10.1007/s13593-011-0073-6>
- Cash, D. W., Clark, W. C., Alcock, F., Dickson, N. M., Eckley, N., Guston, D. H., ... Mitchell, R. B. (2003). Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8086-8091. <http://doi.org/10.1073/pnas.1231332100>
- Cassman, K. G. (1999). Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11), 5952-5959.
- Cerf, M. (1994). *Essai d'analyse psychologique des connaissances techniques et pratiques des agriculteurs: application au raisonnement de l'implantation des betteraves sucrières*. Paris 8.
- Cerf, M. (1996). LES CONNAISSANCES MOBILISÉES PAR DES AGRICULTEURS POUR LA CONCEPTION ET LA MISE EN OEUVRE DE DISPOSITIFS D'INTERVENTION CULTURALE. *Le Travail Humain*, 59(4), 305-333.
- Cerf, M., Guillot, M. N., & Olry, P. (2011). Acting as a change agent in supporting sustainable agriculture: how to cope with new professional situations? *Journal of Agricultural Education and Extension*, 17(1), 7-19.
- Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., & Meynard, J.-M. (2012). Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations. *Agronomy for sustainable development*, 32(4), 899-910.
- Cerf, M., Laudinot, V., Aninat, J.-B., Baechler, F., & Lemaire, P. (2011). Fiches descriptives de l'Agroconseil du RMT SdCI. Projet Cas DAR 9068 « Conseillers demain ».
- Cerf, M., & Meynard, J.-M. (2006). Les outils de pilotage des cultures : diversité de leurs usages et enseignements pour leur conception. *Natures Sciences Sociétés*, Vol. 14(1), 19-29.
- Cerf, M., Omon, B., Chantre, E., Guillot, M.-N., Le Bail, M., Lamine, C., & Olry, P. (2010). Vers des systèmes économes en intrants : quelles trajectoires et quel accompagnement pour les producteurs en grandes cultures? *Innovations Agronomiques*, (8), 105-119.

- Cerf, M., & Sebillotte, M. (1988). Le concept de modele general et la prise de decision dans la conduite d'une culture.
- Chantre, E. (2011). *Apprentissages des agriculteurs vers la réduction d'intrants en grandes cultures : Cas de la Champagne Berrichonne de l'Indre dans les années 1985-2010*. AgroParisTech, Paris.
- Chantre, E., & Cardona, A. (2014). Trajectories of French Field Crop Farmers Moving Toward Sustainable Farming Practices: Change, Learning, and Links with the Advisory Services. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 38(5), 573-602. <http://doi.org/10.1080/21683565.2013.876483>
- Chantre, E., Cerf, M., & Le Bail, M. (2015). Transitional pathways towards input reduction on French field crop farms. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 13(1), 69-86. <http://doi.org/10.1080/14735903.2014.945316>
- Charrier, F., Magrini, M.-B., Charlier, A., Fares, M. 'hand, Le Bail, M., Messéan, A., & Meynard, J.-M. (2013). Alimentation animale et organisation des filières : une comparaison pois protéagineux-lin oléagineux pour comprendre les facteurs freinant ou favorisant les cultures de diversification. *OCL*, 20(4), D407. <http://doi.org/10.1051/ocl/2013011>
- Chevassus-au-Louis, B., & Griffon, M. (2008). La nouvelle modernité: une agriculture productive à haute valeur écologique. *Déméter*, 7-48.
- Chikowo, R., Faloya, V., Petit, S., & Munier-Jolain, N. M. (2009). Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132(3-4), 237-242. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.009>
- Choulier, D. (2008). *Comprendre l'activité de conception*. UTBM.
- Clark, J., & Murdoch, J. (1997). Local Knowledge and the Precarious Extension of Scientific Networks: A Reflection on Three Case Studies. *Sociologia Ruralis*, 37(1), 38-60. <http://doi.org/10.1111/1467-9523.00035>
- Clark, M. j. (2002). Dealing with uncertainty: adaptive approaches to sustainable river management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 12(4), 347-363. <http://doi.org/10.1002/aqc.531>
- Clot, Y. (2008). *Travail et pouvoir d'agir*. Puf Paris.
- Colbach, N., Collard, A., Guyot, S. H. M., Mézière, D., & Munier-Jolain, N. (2014). Assessing innovative sowing patterns for integrated weed management with a 3D crop:weed competition model. *European Journal of Agronomy*, 53, 74-89. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.019>
- Colnenne-David, C., & Doré, T. (2014). Designing innovative productive cropping systems with quantified and ambitious environmental goals. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 1-16.
- Compagnone, C. (2014). Les viticulteurs bourguignons et le respect de l'environnement. *Revue française de sociologie*, Vol. 55(2), 319-358.
- Connolly, J., Goma, H. C., & Rahim, K. (2001). The information content of indicators in intercropping research. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 87(2), 191-207. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00278-X](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00278-X)

- Constantin, J., Beaudoin, N., Launay, M., Duval, J., & Mary, B. (2012). Long-term nitrogen dynamics in various catch crop scenarios: Test and simulations with STICS model in a temperate climate. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 147, 36-46. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2011.06.006>
- Constantin, J., Le Bas, C., & Justes, E. (2015). Large-scale assessment of optimal emergence and destruction dates for cover crops to reduce nitrate leaching in temperate conditions using the STICS soil-crop model. *European Journal of Agronomy*, 69, 75-87. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.002>
- Constantin, J., Mary, B., Laurent, F., Aubrion, G., Fontaine, A., Kerveillant, P., & Beaudoin, N. (2010). Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 135(4), 268-278. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2009.10.005>
- Conway, G. R., & Pretty, J. N. (2013). *Unwelcome Harvest: Agriculture and Pollution*. Routledge.
- Cook, S. D. N., & Brown, J. S. (1999). Bridging epistemologies: The generative dance between organizational knowledge and organizational knowing. *Organization Science*, 10(4), 381-400. <http://doi.org/10.1287/orsc.10.4.381>
- Coquil, X. (2014). Transition des systèmes de polyculture élevage laitiers vers l'autonomie. Une approche par le développement des mondes professionnels. *ABIES-AgroParisTech, Paris*, 228.
- Coquil, X., Fiorelli, J.-L., Blouet, A., & Mignolet, C. (2014). Experiencing Organic Mixed Crop Dairy Systems: A Step-by-Step Design Centred on a Long-term Experiment. In S. Bellon & S. Penvern (éd.), *Organic Farming, Prototype for Sustainable Agricultures* (p. 201-217). Springer Netherlands.
- Coquil, X., Fiorelli, J.-L., Blouet, A., Trommenschlager, J.-M., Bazard, C., & Mignolet, C. (2011a). Conception de systèmes de polyculture élevage laitiers en agriculture biologique: Synthèse de la démarche pas à pas centrée sur le dispositif expérimental INRA ASTER-Mirecourt. In *Rencontres autour des recherches sur les ruminants* (p. 57-60). Institut de l'élevage.
- Coquil, X., Fiorelli, J.-L., Blouet, A., Trommenschlager, J.-M., Bazard, C., & Mignolet, C. (2011b). Conception de systèmes de polyculture élevage laitiers en agriculture biologique: Synthèse de la démarche pas à pas centrée sur le dispositif expérimental INRA ASTER-Mirecourt. In *Rencontres autour des recherches sur les ruminants* (p. 57-60). Institut de l'élevage.
- Coutellec, L. (2015). *La science au pluriel : Essai d'épistémologie pour des sciences impliquées*. Quae éditions.
- Craheix, D., Angevin, F., Bergez, J. E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., ... Doré, T. (2012). MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. *Innovations agronomiques*, 20, 35-48.
- Dalgaard, T., Bienkowski, J. F., Bleeker, A., Dragosits, U., Drouet, J. L., Durand, P., ... Cellier, P. (2012). Farm nitrogen balances in six European landscapes as an indicator for nitrogen losses and basis for improved management. *Biogeosciences*, 9(12), 5303-5321. <http://doi.org/10.5194/bg-9-5303-2012>
- Darré, J.-P. (1999). *La production de connaissance pour l'action: Arguments contre le racisme de l'intelligence*. Les Editions de la MSH.

- Darré, J.-P. (2004). Bases théoriques et antécédents de l'étude des formes de connaissance dans les activités pratiques. *Le sens des pratiques. Conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes, Paris, INRA Éditions*, 53–69.
- Darses, F. (2004). Processus psychologiques de résolution collective des problèmes de conception: contribution de la psychologie ergonomique. *Université de Paris V, France*.
- David, A. (2003). Etude de cas et généralisation scientifique en sciences de gestion.
- David, A., & Hatchuel, A. (2007). Des connaissances actionnables aux théories universelles en sciences de gestion. In *XVIème Conférence Internationale de Management Stratégique*.
- Debaeke, P., Munier-Jolain, N., Bertrand, M., Guichard, L., Nolot, J.-M., Faloya, V., & Saulas, P. (2009). Iterative Design and Evaluation of Rule-Based Cropping Systems: Methodology and Case Studies-A Review. In *Sustainable Agriculture* (p. 707–724). Springer.
- Debaeke, P., Petit, M.-S., Bertrand, M., Mischler, P., Munier-Jolain, N., Nolot, J.-M., ... Verjux, N. (2008). Evaluation des systèmes de culture en stations et en exploitations agricoles. *Systèmes de culture innovants et durables: Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer*, 175–p.
- Dedieu, B., & Ingrand, S. (2010). Incertitude et adaptation: cadres théoriques et application à l'analyse de la dynamique des systèmes d'élevage. *INRA Productions animales*, 23(1), 81–90.
- Deffontaines, J.-P., & Landais, E. (1988). Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. *Études rurales*, 109(1), 125-158. <http://doi.org/10.3406/rural.1988.3226>
- Delbos, C., David, O., Minas, A., Cerf, M., Falgas, C., Gagneur, C. A., ... Waldemeir, E. (2014). Conseil agronomique et réduction des pesticides : quelles ressources pour affronter ce nouveau challenge professionnel ? *Innovations Agronomiques*, (34), 367-378.
- Delbos, G. (1983). Savoir du sel, sel du savoir. *Terrain*, (1), 11-22. <http://doi.org/10.4000/terrain.2781>
- Delbos, G., & Jorion, P. (1984). *La transmission des savoirs* (Vol. 2). Editions de la Maison des sciences de l'homme.
- Demeulenaere, E. (2014). A Political Ontology of Seeds. *Focaal - Journal of Global and Historical Anthropology*, 69, 45-61. <http://doi.org/10.3167/fcl.2014.690104>
- Détienne, F. (2006). Collaborative design: Managing task interdependencies and multiple perspectives. *Interacting with computers*, 18(1), 1–20.
- Dewey, J. (1938). The theory of inquiry. *New York: Holt, Rinehart & Wiston*.
- Dewulf, A., Craps, M., Bouwen, R., Abril, F., & Zhingri, M. (2005). How indigenous farmers and university engineers create actionable knowledge for sustainable irrigation. *Action Research*, 3(2), 175-192. <http://doi.org/10.1177/1476750305052141>
- Deytieux, V., Nemecek, T., Freiermuth Knuchel, R., Gaillard, G., & Munier-Jolain, N. M. (2012). Is Integrated Weed Management efficient for reducing environmental impacts of cropping systems? A case study based on life cycle assessment. *European Journal of Agronomy*, 36(1), 55-65. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2011.08.004>

- Dogliotti, S., García, M. C., Peluffo, S., Dieste, J. P., Pedemonte, A. J., Bacigalupe, G. F., ... Rossing, W. A. H. (2014). Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. *Agricultural Systems*, 126, 76-86. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.02.009>
- Dogliotti, S., Rossing, W. A. H., & Van Ittersum, M. K. (2003). ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations. *European Journal of Agronomy*, 19(2), 239–250.
- Dogliotti, S., Van Ittersum, M. K., & Rossing, W. A. H. (2005). A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agricultural Systems*, 86(1), 29–51.
- Doré, T. (2000). Contribution à la recherche sur les systèmes de culture: diagnostic agronomique régional et maîtrise des effets précédents. Nancy, INPL, Université de Nancy-Metz. *Mémoire d'HDR*.
- Doré, T., Bail, M. L., Martin, P., Ney, B., & Roger-Estrade, J. (2006). *L'agronomie aujourd'hui*. Editions Quae.
- Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., & Tiftonell, P. (2011). Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy*, 34(4), 197-210. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006>
- Doré, T., Sebillotte, M., & Meynard, J. M. (1997). A diagnostic method for assessing regional variations in crop yield. *Agricultural Systems*, 54(2), 169-188. [http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(96\)00084-4](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(96)00084-4)
- Dulcire, M. (1997). A partnership to achieve an impact: what kind of agronomic research can contribute to the evolution of agricultural practices. *Workshop« Linking Participatory Methodologies with People's realities », Brighton, GB*.
- Duru, M. (2013). Combining agroecology and management science to design field tools under high agrosystem structural or process uncertainty: Lessons from two case studies of grassland management. *Agricultural Systems*, 114, 84-94. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.09.002>
- Duru, M., Fares, M. 'hand, & Therond, O. (2014). A conceptual framework for thinking now (and organising tomorrow) the agroecological transition at the level of the territory. *Cahiers Agricultures*, 23(2), 84–95.
- Duru, M., Papy, F., & Soler, L.-G. (1988). Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *CR Acad. Agric. Fr*, 74(4), 81–93.
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., ... Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1259-1281. <http://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Dziok, F., Henle, K., Foeckler, F., Follner, K., & Scholz, M. (2006). Biological Indicator Systems in Floodplains – a Review. *International Review of Hydrobiology*, 91(4), 271-291. <http://doi.org/10.1002/iroh.200510885>
- Elbaz, A., Clavel, J., Rathouz, P. J., Moisan, F., Galanaud, J.-P., Delemotte, B., ... Tzourio, C. (2009). Professional exposure to pesticides and Parkinson disease. *Annals of neurology*, 66(4), 494–504.

- Eshuis, J., & Stuiver, M. (2005). Learning in context through conflict and alignment: Farmers and scientists in search of sustainable agriculture. *Agriculture and Human Values*, 22(2), 137-148. <http://doi.org/10.1007/s10460-004-8274-0>
- Étienne, M. (2010). *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*. Editions Quae.
- Eviner, V. T., & Hawkes, C. V. (2008). Embracing Variability in the Application of Plant–Soil Interactions to the Restoration of Communities and Ecosystems. *Restoration Ecology*, 16(4), 713-729. <http://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00482.x>
- Falzon, P. (1989). *Ergonomie cognitive du dialogue*. Presses universitaires de Grenoble.
- Falzon, P. (1994). DIALOGUES FONCTIONNELS ET ACTIVITÉ COLLECTIVE. *Le Travail Humain*, 57(4), 299-312.
- Farrington, J., & Martin, A. M. (1988). Farmer participatory research: A review of concepts and recent fieldwork. *Agricultural Administration and Extension*, 29(4), 247-264. [http://doi.org/10.1016/0269-7475\(88\)90107-9](http://doi.org/10.1016/0269-7475(88)90107-9)
- Faugère, E., Navarrete, M., Charles, M., Étienne, M., Fauriel, J., Lasseur, J., ... Paratte, R. (2011). Des connaissances scientifiques en quête de connaissances d'acteurs. *Natures Sciences Sociétés*, 18(4), 395-403. <http://doi.org/10.1051/nss/2011002>
- Fazey, I., Bunse, L., Msika, J., Pinke, M., Preedy, K., Evely, A. C., ... Reed, M. S. (2014). Evaluating knowledge exchange in interdisciplinary and multi-stakeholder research. *Global Environmental Change*, 25, 204-220. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.012>
- Fazey, I., Fazey, J. A., Salisbury, J. G., Lindenmayer, D. B., & Dovers, S. (2006). The nature and role of experiential knowledge for environmental conservation. *Environmental Conservation*, 33(01), 1. <http://doi.org/10.1017/S037689290600275X>
- Fiorelli, C., Auricoste, C., & Meynard, J. M. (2014). Concevoir des systèmes de production agroécologiques dans les stations expérimentales de l'INRA: changements de référentiel professionnel pour les agents et les collectifs de recherche. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, (64), 57-68.
- Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T. A., Creamer, N., Harwood, R., ... others. (2003). Agroecology: the ecology of food systems. *Journal of sustainable agriculture*, 22(3), 99–118.
- Fränzle, O. (2006). Complex bioindication and environmental stress assessment. *Ecological Indicators*, 6(1), 114-136. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.08.015>
- Gagneur, C. A. (2010). Rencontres et interactions au fil du travail, sources de développement' Thèse de doctorat. *Université de Bourgogne-AgroSup Dijon, France*.
- Garb, Y., & Friedlander, L. (2014). From transfer to translation: Using systemic understandings of technology to understand drip irrigation uptake. *Agricultural Systems*, 128, 13-24. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.04.003>
- George, C. (1988). Interactions entre les connaissances déclaratives et procédurales. *Les automatismes cognitifs*, 103–137.

- Gibson, E. J. (1982). The concept of affordances in development: The renaissance of functionalism. In *The concept of development: The Minnesota symposia on child psychology* (Vol. 15, p. 55–81). Lawrence Erlbaum Hillsdale, NJ.
- Giono, J. (1984). *Voyage en Italie*. Paris: Gallimard.
- Girardin, P., Bockstaller, C., & Werf, H. V. der. (1999). Indicators: Tools to Evaluate the Environmental Impacts of Farming Systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 13(4), 5-21. http://doi.org/10.1300/J064v13n04_03
- Girard, N. (2014). Quels sont les nouveaux enjeux de gestion des connaissances ? *Revue internationale de psychosociologie et de gestion des comportements organisationnels*, Vol. XIX(49), 51-78. <http://doi.org/10.3917/rips.049.0049>
- Girard, N. (2015). Knowledge at the boundary between science and society: a review of the use of farmers' knowledge in agricultural development. *Journal of Knowledge Management*, 19(5), 949-967. <http://doi.org/10.1108/JKM-02-2015-0049>
- Girard, N., & Hubert, B. (1999). Modelling expert knowledge with knowledge-based systems to design decision aids: The example of a knowledge-based model on grazing management. *Agricultural Systems*, 59(2), 123-144. [http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(98\)00085-7](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(98)00085-7)
- Girard, N., & Navarrete, M. (2005). Quelles synergies entre connaissances scientifiques et empiriques ? L'exemple des cultures du safran et de la truffe. *Natures Sciences Sociétés*, Vol. 13(1), 33-44.
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (2009). *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Transaction Publishers.
- Gliessman, S. R. (1998). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC Press.
- Gliessman, S. R. (2007). *Agroecology: the Ecology of Sustainable Food Systems*. (Taylor & Francis: New York.).
- Gras, R. (1989). *Le Fait technique en agronomie: activité agricole, concepts et méthodes d'étude*. Editions Quae.
- Gras, R., Benoit, M., Deffontaines, J. P., Duru, M., Lafarge, M., Langlet, A., & Osty, P. L. (1989). Le fait technique en agronomie. Activité agricole, concepts et méthodes d'études. *INRA. Editions L'Harmattan. Chapitre 4: Les méthodes; 183 pp Collection Alternatives Rurales*.
- Griffon, M. (2013). *Qu'est ce que l'agriculture écologiquement intensive ?* Editions Quae.
- Gross, H., Girard, N., & Magda, D. (2011). Analyzing Theory and Use of Management Tools for Sustainable Agri-environmental Livestock Practices: The Case of the Pastoral Value in the French Pyrenees Mountains. *Journal of Sustainable Agriculture*, 35(5), 550-573. <http://doi.org/10.1080/10440046.2011.579840>
- Guichard, L., Ballot, R., Glachant, C., & Aubert, C. (2013). PERSYST, a model for ex ante assessment of cropping systems performances. Adaptation to organic farming in the Ile-de-France region. *Innovations Agronomiques*, 32, 123–138.
- Guichard, L., Ballot, R., Halska, J., Lambert, E., Meynard, J. M., Minette, S., ... Soullignac, V. (2015). AgroPEPS, un outil web collaboratif de gestion des connaissances pour Produire, Echanger,

- Pratiquer, S'informer sur les systèmes de culture durables. *Innovations Agronomiques*, 43, 83-94.
- Guichard, L., & Savini, I. (2009). Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires. Tome II. Analyse comparative des différents systèmes en grandes cultures. *Ecophyto R&D, rapport d'expertise financé par le Ministère de l'agriculture et de la pêche et par le Ministère de l'écologie, l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire*.
- Gustavsen, B. (2004). Making knowledge actionable: From theoretical centralism to distributive constructivism. *Concepts and Transformation*, 9(2), 147-180. <http://doi.org/10.1075/cat.9.2.06gus>
- Hagmann, J., & Chuma, E. (2002). Enhancing the adaptive capacity of the resource users in natural resource management. *Agricultural systems*, 73(1), 23-39.
- Hardaker, J. B. (2000). *Some issues in dealing with risk in agriculture*. [Armidale, N.S.W.]: University of New England, Graduate School of Agricultural and Resource Economics.
- Hatchuel, A. (2005). Towards an epistemology of collective action: management research as a responsive and actionable discipline. *European Management Review*, 2(1), 36-47. <http://doi.org/10.1057/palgrave.emr.1500029>
- Hatchuel, A., Le Masson, P., Reich, Y., Weil, B., & others. (2011). A systematic approach of design theories using generativeness and robustness. In *DS 68-2: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), Impacting Society through Engineering Design, Vol. 2: Design Theory and Research Methodology, Lyngby/Copenhagen, Denmark, 15.-19.08. 2011*.
- Hatchuel, A., Weil, B., & others. (2003). A new approach of innovative Design: an introduction to CK theory. In *DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm*.
- Heink, U., & Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10(3), 584-593. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
- Hill, S. B. (2006). Redesign as deep industrial ecology: lessons from ecological agriculture and social ecology. *Linking Industry and Ecology: A Question of Design*, 29-49.
- Hill, S. B. (2014). Considerations for Enabling the Ecological Redesign of Organic and Conventional Agriculture: A Social Ecology and Psychosocial Perspective. In S. Bellon & S. Penvern (éd.), *Organic Farming, Prototype for Sustainable Agricultures* (p. 401-422). Springer Netherlands.
- Hill, S. B., & MacRae, R. J. (1995). Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, 7(1), 81-87.
- Hochman, Z., Coutts, J., Carberry, P. S., & Mccown, R. L. (2000). *The FARMSCAPE experience : Simulations aid participative learning in risky farming systems in Australia*.
- Hoc, J.-M. (1987). *Psychologie cognitive de la planification*. Presses universitaires de Grenoble.
- Holling, C. S., & Meffe, G. K. (1996). Command and control and the pathology of natural resource management. *Conservation biology*, 10(2), 328-337.
- Horlings, L. G., & Marsden, T. K. (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(2), 441-452.
<http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.004>
- Huntington, H. P. (2000). Using Traditional Ecological Knowledge in Science: Methods and Applications. *Ecological Applications*, 10(5), 1270. <http://doi.org/10.2307/2641282>
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. MIT press.
- Ingram, J. (2008a). Agronomist–farmer knowledge encounters: an analysis of knowledge exchange in the context of best management practices in England. *Agriculture and Human Values*, 25(3), 405-418. <http://doi.org/10.1007/s10460-008-9134-0>
- Ingram, J. (2008b). Are farmers in England equipped to meet the knowledge challenge of sustainable soil management? An analysis of farmer and advisor views. *Journal of Environmental Management*, 86(1), 214-228. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.036>
- Ingram, J., Fry, P., & Mathieu, A. (2010). Revealing different understandings of soil held by scientists and farmers in the context of soil protection and management. *Land Use Policy*, 27(1), 51-60. <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.07.005>
- Ingram, J., & Morris, C. (2007). The knowledge challenge within the transition towards sustainable soil management: An analysis of agricultural advisors in England. *Land Use Policy*, 24(1), 100-117. <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2005.07.002>
- Inhelder, B., Ackermann-Valladao, E., Blanchet, A., Karmiloff-Smith, A., Kilcher-Hagedorn, H., Montangero, J., & Robert, M. (1976). Des structures cognitives aux procédures de découverte. *Archives de psychologie*, 44(171), 57–72.
- Ison, R. L. (2008). Systems thinking and practice for action research.
- Jas, N. (2005). Déqualifier le paysan, introniser l'agronome, France 1840-1914. *Ecologie & politique*, N°31(2), 45-55.
- Jas, N. (2010). Pesticides et sante des travailleurs agricoles en France: questions anciennes, nouveaux enjeux. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 59, 47–59.
- Jas, N., & Mayaud, J.-L. (2001). Au carrefour de la chimie et de l'agriculture (les sciences agronomiques en France et en Allemagne, 1850-1914). *Histoire des sciences des techniques et de la médecine*.
- Jensen, E. S., Bedoussac, L., Carlsson, G., Journet, E.-P., Justes, E., & Hauggaard-Nielsen, H. (2015). Enhancing Yields in Organic Crop Production by Eco-Functional Intensification. *Sustainable Agriculture Research*, 4(3). <http://doi.org/10.5539/sar.v4n3p42>
- Jiggins, J., & Roling, N. (2000). *Towards capacity building for complex systems management : Imagining three dimensions*.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*. Harvard University Press.
- Jordan, N., White, S., Gunsolus, J., Becker, R., & Damme, S. (2000). Learning groups developing collaborative learning methods for diversified, site-specific weed management: a case study from Minnesota, USA. In *Cow up a Tree: Knowing and Learning for Change in Agriculture*. (p. 85-95). Paris: INRA.

- Jourdan, M. (1990). *Developpement technique dans l'exploitation agricole et competence de l'agriculteur*. CNAM.
- Jouve, P. (2007). Périodes et ruptures dans l'évolution des savoirs agronomiques et de leur enseignement. *Histoire et agronomie: entre ruptures et durée*. P. Robin, JP Aeschlimann, C. Feller and S. Renoir. Paris, IRD, 109–120.
- Keating, B. A., & McCown, R. L. (2001). Advances in farming systems analysis and intervention. *Agricultural systems*, 70(2), 555–579.
- Kelley, T., & Littman, J. (2004). *The Art of Innovation: Lessons in Creativity from IDEO, America's Leading Design Firm*. Profile Books.
- Kensing, F., & Blomberg, J. (1998). Participatory design: Issues and concerns. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 7(3-4), 167–185.
- Kilelu, C. W., Klerkx, L., & Leeuwis, C. (2014). How Dynamics of Learning are Linked to Innovation Support Services: Insights from a Smallholder Commercialization Project in Kenya. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 20(2), 213-232. <http://doi.org/10.1080/1389224X.2013.823876>
- Klerkx, L., Aarts, N., & Leeuwis, C. (2010). Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. *Agricultural Systems*, 103(6), 390-400. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.012>
- Klerkx, L., & Proctor, A. (2013). Beyond fragmentation and disconnect: Networks for knowledge exchange in the English land management advisory system. *Land Use Policy*, 30(1), 13-24. <http://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.02.003>
- Kloppenburg, J. (1991). Social Theory and the De/Reconstruction of Agricultural Science: Local Knowledge for an Alternative Agriculture1. *Rural Sociology*, 56(4), 519-548. <http://doi.org/10.1111/j.1549-0831.1991.tb00445.x>
- Kollas, C., Kersebaum, K. C., Nendel, C., Manevski, K., Müller, C., Palosuo, T., ... Wu, L. (2015). Crop rotation modelling—A European model intercomparison. *European Journal of Agronomy*, 70, 98-111. <http://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.007>
- Kremen, C., Iles, A., & Bacon, C. (2012). Diversified farming systems: an agroecological, systems-based alternative to modern industrial agriculture.
- Kristjanson, P., Reid, R. S., Dickson, N., Clark, W. C., Romney, D., Puskur, R., ... Grace, D. (2009). Linking international agricultural research knowledge with action for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(13), 5047–5052.
- Kyng, M., & Mathiassen, L. (1980). Systems Development and Trade Union Activities. *DAIMI Report Series*, 8(99).
- 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(2), 209-219. <http://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2011.02.001>
- Lamine, C. (2012). « Changer de système » : une analyse des transitions vers l'agriculture biologique à l'échelle des systèmes agri-alimentaires territoriaux. *Terrains & travaux*, n° 20(1), 139-156.

- Lamine, C. (2015). Sustainability and Resilience in Agrifood Systems: Reconnecting Agriculture, Food and the Environment: Sustainability and resilience in agrifood systems. *Sociologia Ruralis*, 55(1), 41-61. <http://doi.org/10.1111/soru.12061>
- Langon, J., Reau, R., Cariolle, M., Munier-Jolain, N., Omon, B., Petit, M.-S., ... Wery, J. (2008). Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer*, 91-107.
- Laurent, C., Baudry, J., Berriet-Sollicec, M., Kirsch, M., Perraud, D., Tinel, B., ... Ricroch, A. (2009). Pourquoi s'intéresser à la notion d' « evidence-based policy » ? *Revue Tiers Monde*, 200(4), 853-873. <http://doi.org/10.3917/rtm.200.0853>
- Lefèvre, V., Capitaine, M., Peigné, J., & Roger-Estrade, J. (2013). Farmers and agronomists design new biological agricultural practices for organic cropping systems in France. *Agronomy for Sustainable Development*. <http://doi.org/10.1007/s13593-013-0177-2>
- Le Gal, P.-Y., Dugué, P., Faure, G., & Novak, S. (2011). How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agricultural Systems*, 104(9), 714-728. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.07.007>
- Le Gal, P.-Y., Merot, A., Moulin, C.-H., Navarrete, M., & Wery, J. (2010). A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems. *Environmental Modelling & Software*, 25(2), 258-268. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.12.013>
- Le Masson, P., Weil, B., & Hatchuel, A. (2006). *Les processus d'innovation: Conception innovante et croissance des entreprises*. Hermes science publ.
- Le Moigne, J. L. (2002). Le constructivisme. 2 volumes. *Collection ingénium-L'Harmattan, Paris*.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail: contribution à la psychologie ergonomique*. Presses Universitaires de France.
- Le Roux, X., Barbault, R., Baudry, J., Burel, F., Doussan, I., Garnier, E., ... others. (2008). Agriculture et biodiversité. *Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France)*.
- Limaux, F., Recous, S., Meynard, J.-M., & Guckert, A. (1999). Relationship between rate of crop growth at date of fertiliser N application and fate of fertiliser N applied to winter wheat. *Plant and Soil*, 214(1-2), 49-59. <http://doi.org/10.1023/A:1004629511235>
- Love, T. (2000). Philosophy of design: a meta-theoretical structure for design theory. *Design studies*, 21(3), 293-313.
- Loyce, C., Meynard, J. M., Bouchard, C., Rolland, B., Lonnet, P., Bataillon, P., ... Doussinault, G. (2008). Interaction between cultivar and crop management effects on winter wheat diseases, lodging, and yield. *Crop Protection*, 27(7), 1131-1142. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2008.02.001>
- Loyce, C., & Wery, J. (2006). Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture. *L'agronomie aujourd'hui. QUAE Editions*, 77-95.
- Lundvall, B.-åke, & Johnson, B. (1994). The Learning Economy. *Journal of Industry Studies*, 1(2), 23-42. <http://doi.org/10.1080/13662719400000002>

- Magne, M. A. (2007). Modéliser le système d'information des agriculteurs-Le cas des éleveurs de bovins allaitants' Thèse de doctorat. *Université de Montpellier II, Montpellier*.
- Magne, M. A., Cerf, M., & Ingrand, S. (2011). Comment les éleveurs choisissent-ils et utilisent-ils des informations pour conduire leur exploitation? *Cahiers Agricultures*, 20(5), 421–427.
- Mairura, F. S., Mugendi, D. N., Mwanje, J. I., Ramisch, J. J., Mbugua, P. K., & Chianu, J. N. (2007). Integrating scientific and farmers' evaluation of soil quality indicators in Central Kenya. *Geoderma*, 139(1–2), 134–143. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.01.019>
- Makowski, D., Tichit, M., Guichard, L., Van Keulen, H., & Beaudoin, N. (2009). Measuring the accuracy of agro-environmental indicators. *Journal of Environmental Management*, 90, S139–S146. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.023>
- Malézieux, E. (2012). Designing cropping systems from nature. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 15–29. <http://doi.org/10.1007/s13593-011-0027-z>
- Marchand, F., Debruyne, L., Triste, L., Gerrard, C., Padel, S., & Lauwers, L. (2014). Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level. *Ecology and Society*, 19(3). <http://doi.org/10.5751/ES-06876-190346>
- March, J. G. (1991). Exploration and exploitation in organizational learning. *Organization science*, 2(1), 71–87.
- Mathieu, A. (2004). Conceptions des agriculteurs et modèles agronomiques. Le pâturage des vaches laitières dans le Jura. *Natures Sciences Sociétés*, Vol. 12(4), 387–399.
- Mathieu, A., Lasseur, J., & Darré, J.-P. (2004). *Le sens des pratiques: Conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes*. Editions Quae.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1987). *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. New Science Library/Shambhala Publications.
- Mayen, P. (2001). *Développement professionnel et formation: une théorie didactique*. Université Pierre Mendès France, Grenoble: Habilitation à Diriger des Recherches.
- Mayen, P. (2008). CHAPITRE 3. Intégrer les savoirs à l'action. *Perspectives en éducation et formation*, 43–58.
- McCown, R. L. (2001). Learning to bridge the gap between science-based decision support and the practice of farming: evolution in paradigms of model-based research and intervention from design to dialogue. *Crop and Pasture Science*, 52(5), 549–572.
- McCown, R. L. (2002). Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. *Agricultural Systems*, 74(1), 179–220. [http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00026-4](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00026-4)
- McCown, R. L. (2012). A cognitive systems framework to inform delivery of analytic support for farmers' intuitive management under seasonal climatic variability. *Agricultural Systems*, 105(1), 7–20. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.08.005>
- McCown, R. L., Carberry, P. S., Dalgliesh, N. P., Foale, M. A., & Hochman, Z. (2012). Farmers use intuition to reinvent analytic decision support for managing seasonal climatic variability. *Agricultural Systems*, 106(1), 33–45. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.10.005>

- McCown, R. L., Hammer, G. L., Hargreaves, J. N. G., Holzworth, D. P., & Freebairn, D. M. (1996a). APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agricultural systems*, 50(3), 255–271.
- McCown, R. L., Hammer, G. L., Hargreaves, J. N. G., Holzworth, D. P., & Freebairn, D. M. (1996b). APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agricultural Systems*, 50(3), 255–271. [http://doi.org/10.1016/0308-521X\(94\)00055-V](http://doi.org/10.1016/0308-521X(94)00055-V)
- Médiène, S., Valantin-Morison, M., Sarthou, J.-P., de Tourdonnet, S., Gosme, M., Bertrand, M., ... others. (2011). Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agronomy for sustainable development*, 31(3), 491–514.
- Meinke, H., Nelson, R., Kovic, P., Stone, R., Selvaraju, R., & Baethgen, W. (2006). Actionable climate knowledge: from analysis to synthesis. *Climate Research*, 33(1), 101.
- Meynard, J. M. (1985). *Construction d'itinéraires techniques pour la conduite du blé d'hiver*.
- Meynard, J. M. (2015). System experiments: methodological progress. Présenté à 5th international symposium for Farming Systems Design, Montpellier, France.
- Meynard, J. M., Aggeri, F., Coulon, J. B., Habib, R., & Tillon, J. P. (2006). Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants. *Rapport du groupe de travail*.
- Meynard, J. M., Aubry, C., Justes, E., & Bail, M. L. (1997). Nitrogen Diagnosis and Decision Support. In D. G. Lemaire (éd.), *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops* (p. 147-161). Springer Berlin Heidelberg.
- Meynard, J. M., & Casabianca, F. (2012). Agricultural systems and the innovation process. In R. Bouche, A. Derkimba, & F. Casabianca (éd.), *New trends for innovation in the Mediterranean animal production* (p. 17-26). Wageningen Academic Publishers.
- Meynard, J. M., & Cresson, C. (2011). Le Conseil Scientifique de l'Agriculture Biologique identifie 8 priorités de recherche-développement. *NESE*, (35), 27-40.
- Meynard, J. M., Dedieu, B., & Bos, A. P. (Bram). (2012). Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In I. Darnhofer, D. Gibbon, & B. Dedieu (éd.), *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic* (p. 405-429). Springer Netherlands.
- Meynard, J. M., Dore, T., & Habib, R. (2001). L'évaluation et la conception de systèmes de culture pour une agriculture durable. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 87(4), 223-236.
- Meynard, J. M., & Dourmad, J. Y. (2014). Innovation in animal production: renewed approaches for new issues. *INRA PRODUCTIONS ANIMALES*, 27(2), 77–88.
- Meynard, J. M., & Girardin, P. (1991). Produire autrement. *Courrier de la cellule environnement*, 15, 1–19.
- Meynard, J.-M., Messéan, A., Charlier, A., Charrier, F., Fares, M. 'hand, Le Bail, M., ... Savini, I. (2013). Freins et leviers à la diversification des cultures : étude au niveau des exploitations agricoles et des filières. *OCL*, 20(4), D403. <http://doi.org/10.1051/ocl/2013007>

- Meynard, J. M., Reau, R., Robert, D., & Saulas, P. (1996). Evaluation expérimentale des itinéraires techniques. *Expérimenter sur les conduites des cultures. Un nouveau savoir-faire pour une agriculture en mutation. Ministère de l'agriculture, Acta, Comité potentialités*, 63–72.
- Miller, H. T., & Fox, C. J. (2001). The Epistemic Community. *Administration & Society*, 32(6), 668-685. <http://doi.org/10.1177/00953990122019613>
- Milleville, P. (1987). Recherches sur les pratiques des agriculteurs. *Les cahiers de la Recherche Développement*, 16, 3–7.
- Mischler, P., Lheureux, S., Dumoulin, F., Menu, P., Sene, O., Hopquin, J.-P., ... Faloya, V. (2009). Huit fermes de grande culture engagées en production intégrée réduisent les pesticides sans baisse de marge. *Le Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 57, 73–91.
- Moity-Maïzi, P. (2011). Interroger la localisation et la circulation des savoirs en Afrique. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 53(3), 473-491. <http://doi.org/10.3917/rac.014.0473>
- Mollo, V., & Falzon, P. (2004). Auto- and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied Ergonomics*, 35(6), 531-540. <http://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.06.003>
- Morgan, K., & Murdoch, J. (2000). Organic vs. conventional agriculture: knowledge, power and innovation in the food chain. *Geoforum*, 31(2), 159–173.
- Mormont, M. (2007). Des savoirs actionnables.
- Murage, E. W., Karanja, N. K., Smithson, P. C., & Woomer, P. L. (2000). Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive smallholders' fields of Kenya's Central Highlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 79(1), 1-8. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00142-5](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00142-5)
- Nonaka, I. (1994). A dynamic theory of organizational knowledge creation. *Organization science*, 5(1), 14–37.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford university press.
- Ochanine, D. (1978). Le rôle des images opératives dans la régulation des activités de travail. *Psychologie et éducation*, 2(3), 63–79.
- Pahl, G., & Beitz, W. (1996). *Engineering design: A systematic approach*. Springer.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer Science & Business Media.
- Pålshaugen, Ø. (2004). How to do things with words: Towards a linguistic turn in action research? *Concepts and Transformation*, 9(2), 181-203. <http://doi.org/10.1075/cat.9.2.07pal>
- Palshaugen, O. (2009). How to Generate Knowledge from Single Case Research on Innovation? *International Journal of Action Research*, 5(3), 231-254.
- Papy, F. (1998). Savoir pratique sur les systèmes techniques et aide à la décision. *La conduite du champ cultivé. Points de vue d'agronomes. IRD*, 245–259.
- PAPY, F. (2001). Pour une théorie du ménage des champs: l'agronomie des territoires. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France*, 87(4), 139–149.

- Passeron, J.-C., & Revel, J. (2005). Penser par cas. *Enquête- École des hautes études en sciences sociales*.
- Pastré, P. (1997). Didactique professionnelle et développement. *Psychologie française*, 42(1), 89–100.
- Pastré, P. (1999). La conceptualisation dans l'action: bilan et nouvelles perspectives. *Éducation permanente*, (139), 13–35.
- Pastré, P. (2002). L'analyse du travail en didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 138(1), 9-17. <http://doi.org/10.3406/rfp.2002.2859>
- Pastré, P. (2004). Le rôle des concepts pragmatiques dans la gestion de situations problèmes: le cas des régleurs en plasturgie. *Recherches en didactique professionnelle*, 1, 47.
- Pastré, P. (2006). Apprendre à faire. *Apprendre et faire apprendre*. Paris: PUF, 109–121.
- Pastré, P. (2008). La didactique professionnelle: origines, fondements, perspectives. *Travail et apprentissages*, 1(1), 9–22.
- Pastré, P. (2011a). La didactique professionnelle. *Education Sciences & Society*, 2(1).
- Pastré, P. (2011b). *La didactique professionnelle: approche anthropologique du développement chez les adultes*. Presses universitaires de France.
- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (154), 145-198. <http://doi.org/10.4000/rfp.157>
- Pearce, B. (1998). Thinking about systems and thinking systemically. *Unpublished manuscript*.
- Pellizzoni, L. (2005). TRUST, RESPONSIBILITY AND ENVIRONMENTAL POLICY *The article aims to reflect on some aspects of environmental policy Starting from its declining social legitimacy I argue for the analytical importance of the concepts of trust and responsibility. Empirical insight is provided by some results of a European study on public views of food issues. *European Societies*, 7(4), 567-594. <http://doi.org/10.1080/14616690500194118>
- Petit, M. S., Reau, R., Dumas, M., Moraine, M., Omon, B., & Josse, S. (2012). Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. *Innovations agronomiques*, 20, 79–100.
- Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*. Presses universitaires de France.
- Plat, M. (2001). *Choisir de comprendre ou décider d'agir en environnement dynamique: le cas de l'activité de pilotage en situation incidentelle atypique*. Paris 8.
- Polanyi, M. (1958). Personal knowledge, towards a post critical epistemology. *Chicago, IL: University of*.
- Popper, K. R., Popper, K. R., & Popper, K. R. (1972). Objective knowledge: An evolutionary approach.
- Prost, L. (2008). *Modéliser en agronomie et concevoir des outils en interaction avec de futurs utilisateurs: le cas de la modélisation des interactions génotype-environnement et de l'outil DIAGVAR*. AgroParisTech.
- Prost, L., Berthet, E. T. A., Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Labatut, J., & Meynard, J. M. (en révision). Innovative design for agriculture in the move towards sustainability: scientific challenges. *Research in Engineering Design*.

- Prost, L., Cerf, M., & Jeuffroy, M.-H. (2012). Lack of consideration for end-users during the design of agronomic models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 581-594. <http://doi.org/10.1007/s13593-011-0059-4>
- Prost, L., & Jeuffroy, M.-H. (2007). Replacing the nitrogen nutrition index by the chlorophyll meter to assess wheat N status. *Agronomy for Sustainable Development*, 27(4), 321-330. <http://doi.org/10.1051/agro:2007032>
- Rabardel, P. (2005). Instrument subjectif et développement du pouvoir d'agir. *Modèles du sujet pour la conception. Dialectiques activités développement*, 11–29.
- Rasmussen, J. (1986). *A framework for cognitive task analysis in systems design*. Springer.
- Raymond, C. M., Fazey, I., Reed, M. S., Stringer, L. C., Robinson, G. M., & Evely, A. C. (2010). Integrating local and scientific knowledge for environmental management. *Journal of Environmental Management*, 91(8), 1766-1777. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.03.023>
- Reau, R. (2015). De novo design workshop: a method for co-designing innovative cropping systems. Présenté à 5th international symposium for Farming Systems Design, Montpellier, France.
- Reau, R., Meynard, J. M., Robert, D., & Gitton, C. (1996). Des essais factoriels aux essais « conduite de culture ». *Expérimenter sur les conduites de cultures: un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation*. Paris, DERF-ACTA, 52–62.
- Reau, R., Monnot, L. A., Schaub, A., Munier-Jolain, N., Pambou, I., Bockstaller, C., ... Dumans, P. (2012). Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. *Innovations agronomiques*, (20), 5-33.
- Reed, M. S., Stringer, L. C., Fazey, I., Evely, A. C., & Kruijssen, J. H. J. (2014). Five principles for the practice of knowledge exchange in environmental management. *Journal of Environmental Management*, 146, 337-345. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.021>
- Rey, F., Cécillon, L., Cordonnier, T., Jaunatre, R., & Loucougaray, G. (2015). Integrating ecological engineering and ecological intensification from management practices to ecosystem services into a generic framework: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1335-1345. <http://doi.org/10.1007/s13593-015-0320-3>
- Richard, J. F. (1983). *Logique du fonctionnement et logique de l'utilisation* (report). INRIA.
- Richard, J.-F. (1990). *Les activités mentales: comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris: Colin.
- Riley, J. (2001). Indicator quality for assessment of impact of multidisciplinary systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 87(2), 121-128. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00272-9](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00272-9)
- Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155-169. <http://doi.org/10.1007/BF01405730>
- Rogalski, J., & Veillard, L. (2002). Articulation entre différents types de connaissances. *Des connaissances naïves aux savoirs scientifiques*, 67–106.
- Röling, N. G., & Engel, P. G. H. (1991). The development of the concept of agricultural knowledge and information systems (AKIS): implications for extension.

- Röling, N. G., & Jiggins, J. L. S. (1994). Policy paradigm for sustainable farming. *European Journal of Agricultural Education and Extension*, 1(1), 23-43. <http://doi.org/10.1080/13892249485300041>
- Rossing, W. A. H. (1996). Types and purposes of models in ecology and crop protection: an overview.
- Rossing, W. A. H., Meynard, J. M., & Van Ittersum, M. K. (1997). Model-based explorations to support development of sustainable farming systems: case studies from France and the Netherlands. *Developments in Crop Science*, 25, 339–351.
- Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J.-É., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., ... Doré, T. (2009). Ex ante Assessment of the Sustainability of Alternative Cropping Systems: Implications for Using Multi-criteria Decision-Aid Methods-A Review. In *Sustainable Agriculture* (p. 753–767). Springer.
- Salembier, C., & Meynard, J. M. (2013). Evaluation de systèmes de culture innovants conçus par des agriculteurs: un exemple dans la Pampa Argentine. *Innovations Agronomiques*, 27–44.
- Samurçay, R., & Rabardel, P. (2004). Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, propositions. *Recherches en didactique professionnelle*, 163–180.
- Samurçay, R., & Rogalski, J. (1992). Formation aux activités de gestion d'environnements dynamiques : concepts et méthodes. *Education permanente*, (111), 227-242.
- Schmidt, A., Guichard, L., & Reau, R. (2010). Le colza est très dépendant des pesticides dans les rotations courtes sans labour. *Agreste synthèses*, 121(7).
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action* (Vol. 5126). Basic books.
- Schott, C., Mignolet, C., & Meynard, J.-M. (2010). Les oléoprotéagineux dans les systèmes de culture: évolution des assolements et des successions culturales depuis les années 1970 dans le bassin de la Seine. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 17(5), 276–291.
- Schreiber, E. S. G., Bearlin, A. R., Nicol, S. J., & Todd, C. R. (2004). Adaptive management: a synthesis of current understanding and effective application. *Ecological Management & Restoration*, 5(3), 177-182. <http://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2004.00206.x>
- Schuler, D., & Namioka, A. (1993). *Participatory design: Principles and practices*. CRC Press.
- Schwartz, Y. (2009). Produire des savoirs entre adhérence et désadhérence. *Dynamique des savoirs, dynamique des changements.*, 15–28.
- Sebillotte, M. (1969). Le« tour de plaine ». Facteur de rentabilité dans l'entreprise agricole. *Facteur de rentabilité dans l'entreprise agricole*.
- Sebillotte, M. (1974). Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cahiers de l'ORSTOM*, 24, 3–25.
- Sebillotte, M. (1990). Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In *Les systèmes de culture* (INRA, p. 165-196). Paris: INRA.
- Sebillotte, M., & Cerf, M. (1997). Approche cognitive des décisions de production dans l'exploitation agricole. *Économie rurale*, 239(1), 11-18. <http://doi.org/10.3406/ecoru.1997.4862>
- Sebillotte, M., & Soler, L.-G. (1990). Les processus de décision des agriculteurs. In *Seminaire du Département de Recherches sur les Systemes Agraires et le Developpement (SAD). Seminar of*

- the Departement de Recherches sur les Systemes Agraires et le Developpement (SAD). Saint Maximin (France). 2-3 Mar 1989.*
- Shotter, J. (2012). More than cool reason: « Witness-thinking » or « systemic-thinking » and « thinking about systems. » *International Journal of Collaborative Practice*, 3(1), 1–13.
- Simon, H. A. (1957). Models of man; social and rational.
- Simon, H. A. (1969). The sciences of the artificial. *Cambridge, MA*.
- Simon, H. A. (1976). From substantive to procedural rationality. In *25 Years of Economic Theory* (p. 65–86). Springer.
- Smith, R. P., & Eppinger, S. D. (1997). Identifying controlling features of engineering design iteration. *Management Science*, 43(3), 276–293.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3), 247–266.
- Sorensen, C. G., Pesonen, L., Fountas, S., Suomi, P., Bochtis, D., Bildsøe, P., & Pedersen, S. M. (2010). A user-centric approach for information modelling in arable farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 73(1), 44-55. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2010.04.003>
- Souchère, V., Millair, L., Echeverria, J., Bousquet, F., Le Page, C., & Etienne, M. (2010). Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale. *Environmental Modelling & Software*, 25(11), 1359-1370. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.03.002>
- Stake, R. E. (1994). Case Study: Composition and Performance. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, (122), 31-44.
- Sterk, B., Leeuwis, C., & van Ittersum, M. K. (2009). Land use models in complex societal problem solving: Plug and play or networking? *Environmental Modelling & Software*, 24(2), 165-172. <http://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.07.001>
- Stoate, C., Boatman, N. D., Borralho, R. J., Carvalho, C. R., De Snoo, G. R., & Eden, P. (2001). Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of environmental management*, 63(4), 337–365.
- Suchman, L. A. (1987). *Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication*. Cambridge University Press.
- Tenkasi, R. V., & Hay, G. W. (2004). Actionable knowledge and scholar-practitioners: A process model of theory-practice linkages. *Systemic Practice and Action Research*, 17(3), 177-206. <http://doi.org/10.1023/B:SPAA.0000031697.76777.ac>
- Theau, J. P., Duru, M., Cruz, P., Jouany, C., Martin, G., Magne, M. A., & Delmas, B. (2010). *Contributions des partenariats pour concevoir des connaissances agronomiques sur la gestion de l'herbe et développer des outils actionnables par des conseillers fourragers*. (E. Coudel, H. Devautour, C. Soulard, & B. Hubert, éd.). UMR 1248 AGIR, INRA, BP 52627 Auzéville, France.: Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement (CIRAD).

- Theureau, J. (2010). Les entretiens d'autoconfrontation et de remise en situation par les traces matérielles et le programme de recherche « cours d'action ». *Revue d'anthropologie des connaissances*, Vol 4, 2(2), 287. <http://doi.org/10.3917/rac.010.0287>
- Thiétard, R. A. (2003). *Méthodes de recherche en management (coll.)*. Dunod, Paris.
- Tittonell, P., Corbeels, M., Van Wijk, M. T., Vanlauwe, B., & Giller, K. E. (2008). Combining organic and mineral fertilizers for integrated soil fertility management in smallholder farming systems of Kenya: explorations using the crop-soil model FIELD. *Agronomy journal*, 100(5), 1511–1526.
- Tixier, P. (2004). *Conception assistée par modèle de systèmes de culture durables: Application aux systèmes bananiers de Guadeloupe*. Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier-AGRO M.
- Vall, E., Blanchard, M., Diallo, M. A., Dongmo, A. L., & Bayala, I. (2010). Savoirs techniques locaux, sources d'innovations? Production de savoirs actionnables dans une démarche de recherche action en partenariat. In *Actes du colloque «Savanes africaines en développement: innover pour durer»*.
- Vereijken, P. (1997). A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. In M.K. van Ittersum and S.C van de Geijn (éd.), *Developments in Crop Science* (Vol. Volume 25, p. 293-308). Elsevier.
- Vergnaud, G. (1990a). Catégories logiques et invariants opératoires. *Archives de psychologie*, 58(225), 145-149.
- Vergnaud, G. (1990b). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en didactique des mathématiques*, 10(2), 3.
- Vergnaud, G. (2002). L'explication est-elle autre chose que la conceptualisation ? *Raisons éducatives*, [NUMERO_VOLUME_CHIFFRE], 31-44.
- Vergnaud, G. (2011). Au fond de l'action, la conceptualisation. *Education et formation*, 275–292.
- Vermersch, P. (1994). L'entretien d'explicitation.
- Vial, S. (2015). *Le design* (PUF). Paris.
- Vidal-Gomel, C., & Rogalski, J. (2007). La conceptualisation et la place des concepts pragmatiques dans l'activité professionnelle et le développement des compétences. *@ ctivités*, 4(1).
- Vincenti, W. G. (1990). *What engineers know and how they know it* (Vol. 141). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Vincenti, W. G. (1993). *What engineers know and how they know it: analytical studies from aeronautical history*. Johns Hopkins University Press.
- Voß, J.-P., Newig, J., Kastens, B., Monstadt, J., & Nölting, B. (2007). Steering for Sustainable Development: a Typology of Problems and Strategies with respect to Ambivalence, Uncertainty and Distributed Power. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 9(3-4), 193-212. <http://doi.org/10.1080/15239080701622881>
- Walker, D. H., & Sinclair, F. L. (1998). Acquiring qualitative knowledge about complex agroecosystems. Part 2: Formal representation. *Agricultural Systems*, 56(3), 365-386. [http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(97\)00049-8](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(97)00049-8)

- Walker, D. H., Thorne, P. J., Sinclair, F. L., Thapa, B., Wood, C. D., & Subba, D. B. (1999). A systems approach to comparing indigenous and scientific knowledge: consistency and discriminatory power of indigenous and laboratory assessment of the nutritive value of tree fodder. *Agricultural Systems*, 62(2), 87-103. [http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00058-X](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00058-X)
- Walliser, B. (1977). *Systèmes et modèles: introduction critique à l'analyse de systèmes*. Éditions du Seuil.
- Warner, K. (2007). *Agroecology in action: extending alternative agriculture through social networks*. MIT Press.
- Warner, K. D. (2008a). Agroecology as Participatory Science Emerging Alternatives to Technology Transfer Extension Practice. *Science, Technology & Human Values*, 33(6), 754-777. <http://doi.org/10.1177/0162243907309851>
- Warner, K. D. (2008b). Agroecology as Participatory Science Emerging Alternatives to Technology Transfer Extension Practice. *Science, Technology & Human Values*, 33(6), 754-777. <http://doi.org/10.1177/0162243907309851>
- Westgate, M. J., Likens, G. E., & Lindenmayer, D. B. (2013). Adaptive management of biological systems: A review. *Biological Conservation*, 158, 128-139. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.08.016>
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(4), 503-515. <http://doi.org/10.1051/agro/2009004>
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.-F., Ferrer, A., & Peigné, J. (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 1-20. <http://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7>
- Williams, B. K. (2011). Adaptive management of natural resources—framework and issues. *Journal of Environmental Management*, 92(5), 1346-1353. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.041>
- Williams, B. K. (2012). Reducing uncertainty about objective functions in adaptive management. *Ecological Modelling*, 225, 61-65. <http://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.11.009>
- Wilson, G. A. (2008). From « weak » to « strong » multifunctionality: Conceptualising farm-level multifunctional transitional pathways. *Journal of Rural Studies*, 24(3), 367-383. <http://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2007.12.010>
- Wustenberghs, H., Delcour, I., D'Haene, K., Lauwers, L., Marchand, F., Steurbaut, W., & Spanoghe, P. (2012). A dual indicator set to help farms achieve more sustainable crop protection. *Pest Management Science*, 68(8), 1130-1140. <http://doi.org/10.1002/ps.3332>

Liste des ANNEXES

Annexe 1 – Exploration des techniques (extrait) et critères de choix pour l’analyse documentaire	p. 195
Annexe 2 – Liste des documents proposés lors de la réunion de réflexion avec le groupe d’agriculteurs en AB réalisé avec la Chambre d’Agriculture de Beauvais.....	p. 197
Annexe 3 – Liste des documents distribués lors de la réunion de réflexion avec le groupe d’agriculteurs de la coopérative COREA PC.....	p. 198
Annexe 4 – Guide utilisé pour les entretiens semi-directifs.....	p. 199
Annexe 5 – Citations et exemples issus des entretiens, illustrant les résultats du chapitre III (Partie 3).....	p. 203

Annexe 1 - Exploration des techniques (extrait) et critères de choix pour l'analyse documentaire (Cf. Partie 3, chapitre I)

	diversification		plantes de service	
	introduction d'une légumineuse fourragère	introduction de prairies temporaires (mélange)	couvert permanent	semi direct dans couvert
commentaire général	permet de préciser sur certaines espèces hyper intéressant parce qu'il y a pleins de connaissances mais emmène plus vers gestion N que maladies.	quelques connaissances qd même dans l'aspect pluriannuel, on a plus l'idée d'allongement de la rotation et donc limiter les maladies (mais la leg. fourragère peut être pluriannuelle)	peu de terrains. mais les agriculteurs que j'ai rencontré en parlent Je différencie "couvert permanent" = point de vue espèces pour le couvert et services; de "semi direct dans couvert" = concerne plus la technique d'implantation (abatement du couvert, densité de semis, date etc) mais dans la réalité difficile de séparer les deux	
	SMaCH	oui (diversité)	oui (diversité)	
	ADAR		oui	
	Diversification			
Travaux guides	Réseau EXPE Dephy		oui	oui
	Ecophyto R&D		oui	
	Chantre	diversification pour gestion adventices	diversification pour gestion adventices	TCS et pratiques de réduction des intrants non liées à une trajectoire !
	Lefevre		mulch vivant?	
Re-conception?	S si on considère qu'on remplace engrais N par la légumineuse R dans le sens d'une modification de la rotation	oui : autre approche de la rotation et apports de fonctions différentes (pas substitution exacte)	oui	oui
Compartiments concernés : viser les bioagresseurs ! (plante, peuplement, structure du sol, texture du sol, chimie du sol (MO, N, C), eau, maladies, faune de la parcelle, faune non liée à la parcelle, flore adventice)	adventices si suffisamment couvrante N structure du sol (dépend du système racinaire de l'espèce)	surtout pour adventices (stock) structure du sol N et C habitat populations insectes	adventices structure du sol N si espèces légumineuses faune liée à la parcelle	peuplement et son développement, adventices, structure du sol, MO faune liée à la parcelle (abris carabes et vers par résidus par exemple)
Autres compartiments également concernés, moins directement		maladies via allongement rotation, (allélopathie)		maladies telluriques
Connaissances scientifiques disponibles	Fixation N et émissions GES mais surtout sur à l'échelle campagne culturale (N des résidus par ex) Bellon 1993 (place ds syst méditerranéens)	Mediene espèces à choisir en fonction du sol, de l'environnement, mais pas encore pour favoriser une fonction spécifique effets pluriannuels	?? Regarder dans texte de thèse V Lefèvre	peut être là que ça coince !
Connaissances expertes et techniques du développement (type Arvalis, ITAB, coops)			fiche AgroPeps existante	uniquement par machinistes? À voir!
Echelles de temps (en particulier temps long, pluriannuelle ou annuelle)	pensé au niveau rotation peut être conservée 2,3 ans	long dans le mécanisme mais dans ses effets?	pluriannuel dans réalisation et fonction	annuelle mais nécessite de penser interannuel
Espaces de l'exploitation concernés (bordures, champ, parcellaire, prend en compte l'organisation spatiale)	champ cultivé	champ cultivé continuités avec autres éléments paysage	champ cultivé	champ cultivé
Bio / pas bio	oui / ?	oui / ?	?	?
Possibilité terrain		stage PIST cette année	pas sûr que bcp d'agri. pratiquent	

	ITK intégré	W sol	paysage
	combinaison semis (date, variété, densité, écartement)	déchaumage/faux semis	implantation de bordures/bandes fleuries
commentaire général	organise en amont pour gérer des problèmes en aval reconception dans le sens de combinaison de pratiques mais si on restreint à bio par la suite, ça sera peut être plus difficile à identifier	à coupler avec le précédent? Les faux semis amènent souvent à retarder la date de semis d'automne. Je séparaï parce que le précédent est du point de vue 'combinaison de techniques pour protection intégrée' alors que celui-ci plus 'redéfinition W sol'.	quelques exemples mais des fois surtout pour l'image types: esthétique, apicole, faune sauvage
	SMaCH	oui	oui dans le sens continuité à l'échelle paysage
	ADAR	oui	oui
	Diversification		
Travaux guides	Réseau EXPE Dephy	oui	oui (puissance4, Giteau)
	Ecophyto R&D	oui	
	Chantre	TCS et pratiques de réduction des intrants non liées à une trajectoire !	oui
	Lefevre	oui	
Re-conception?	combinaison de techniques -> évite la substitution	on cherche bien à diminuer le stock grainier ne remplace pas exactement le labour à mon sens force au minimum à reculer le semis du coup modifie ITK!	oui si lien avec les pratiques (par exemple de traitement) faune de la parcelle (ravageurs et ennemis naturels), faune non liée à la parcelle
Compartiments concernés : viser les bioagresseurs ! (plante, peuplement, structure du sol, texture du sol, chimie du sol (MO, N, C), eau, maladies, faune de la parcelle, faune non liée à la parcelle, flore adventice)	plante et son développement, maladies, faune liée à la parcelle		limite ruissellement peuplement 'cloisonné' -> barrière mécanique pour maladies?
Autres compartiments également concernés, moins directement	adventices+structure du sol si relié à faux semis		?
Connaissances scientifiques disponibles	pas dans agropeps qui traite l'échelle 'technique élémentaire' tous les travaux sur itinéraires intégrés travaux sur l'architecture du peuplement et épidémiologie (variété, densité) viabilité économique des ITK intégrés	à voir avec Jean ! effets des faux semis sur le stock adventices, modèles et essais (Munier Jolain) effet du travail uniquement superficiel sur carabes (?)	on sait que prédation de graines en milieu contrôlé, mais pas bcp plus pas beaucoup d'approche 'ressources' pour les auxiliaires symples: situations très précises, pas bcp quanti, ni mécas de prédation
Connaissances expertes et techniques du développement (type Arvalis, ITAB, coops)	refs sur les ITK blés rustiques et colza		manques: distances (pour l'instant basées sur déplacement mais pas effets au champ), risques, espèces et familles attirées en fonction du mélange, de l'age, du type de bande
Echelles de temps (en particulier temps long, pluriannuelle ou annuelle)	campagne culturale pas tellement temps long ! Sauf si on considère qu'on réduit les inoculum		des expériences en cours (groupe dans la Marne) mais avec l'entrée idéologique biodiversité et la bonne image -> besoin de k?
Espaces de l'exploitation concernés (bordures, champ, parcellaire, prend en compte l'organisation spatiale)	champ cultivé	champ cultivé	pluriannuelle dans la réalisation et les effets, non lié à la campagne culturale. espace non cultivé, continuités, amène les questions de dimensions et distances
Bio / pas bio	oui / oui	oui / oui	? / ?
Possibilité terrain			groupe dans la Marne mais semble se lancer pour biodiv et sans besoin de k!

Annexe 2 - Liste des documents proposes lors de la reunion de reflexion avec le groupe d'agriculteurs en AB réalisé avec la Chambre d'Agriculture de Beauvais



JOURNEE LUZERNE BIOLOGIQUE - AMIENS le 19 février 2014 - listing des articles et communications

thème	auteur	article	année	nb pages
biodiversité				
1	Coopérative déshydratation de France	la luzerne alliée naturelle de la biodiversité	2010	6
2	INRA - CA 51	luzerne et qualité de l'eau	2010	6
3	Thiebeau - Carrefours agronomiques	contribution de la luzerne à la biodiversité de nos campagnes	2010	23
4	Thiebeau - Vanloot	luzerne, des atouts en faveur de l'environnement	2001	5
conduite technique				
1	Thiebeau	effet de l'apport de lisier sur la luzerne	2004	15
2	Larbre	Maintien de la productivité, tout est dans l'implantation	2010	1
3	Larbre	comparaison d'itinéraires techniques	2008	3
4	Coopérative déshydratation de France	expérimentation végétale	2008	10
5	J.Pousset	intérêt de la luzerne biologique		3
6	J.Pousset	intérêt de la luzerne biologique - la voie bio lactée	2001	1
7	Coopérative déshydratation de France	Choix variétal 2014	2013	4
8	Thiebeau	semier de la luzerne sous couvert de pois	2002	1
9	DINABIO	légumineuses en association relais et adventices	2013	23
10	RMT Biomasse	la luzerne	2009	7
11	Chambre agriculture Bourgogne	la luzerne	2011	9
12	R Coutin	principaux insectes de la luzerne	2001	4
13	Réussir lait	Réussir le foin de luzerne	2013	4
14	N Beaudouin - P Thiebeau	impact des passages de roues sur la productivité de la luzerne	2007	
15	ITAB - FNAMS	produire des semences de luzerne dans un itinéraire AB	2003	4
16	Larbre	Enquêtes culturelles 2001 - luzerne en Champagne	2012	25
17	Larbre	luzernes en association avec des graminées : conséquences sur la productivité, la qualité et le salissement des cultures.	2008	7
effet adventices				
1	Agropeps Clermont Ferrand	cultiver des espèces pluriannuelles	2012	7
2	INRA Grignon	La Luzerne pluriannuelle influence les communautés d'adventices dans les rotations à base de céréales		6
3	Bulletin semences	luzerne, maîtriser les adventices dans la rotation	2008	4
4	Pôle agro PV - CA Bretagne	désherbage de la luzerne	2009	1
5	N Munier Jolain - Innovations agro	rôle des prairies temporaires dans la gestion des adventices	2012	14
effet N P et K sur rotation				
1	Thiebeau - Justes	Libération de l'azote après retournement de la luzerne, un effet sur 2 campagnes	2001	4
2	Alter Agri - L Prieur E Justes	disponibilité en azote issue de l'effet précédent légumineuse	2008	5
3	Arvalis - JP Cohan	mieux valoriser l'azote de la luzerne en AB dans la rotation	2012	2
4	COMIFER -	Grille de calcul dose PK + calcul ferti sur une rotation AB	2009	4
5	Coopérative déshydratation de France	Spéciale fertilisation Circulaire N°125	2011	2
luzerne fertilisant				
1	guide CORPEN	fertilisation des légumineuses (la luzerne)	1999	18
2	Glachant et Aubert CA 77	la luzerne comme fertilisant, synthèse de 3 années d'expérimentation	2013	8
3	Cultivar	La luzerne, à défaut de la vendre on peut l'épandre	2014	3
4	Arvalis - Bouttet et Bouviala	synthèse 2012 des essais luzerne comme fertilisant	2012	25
5	Archambaud - TCS	Agrosystème LOME	2010	3
Impact luzerne sur durabilité système				
1	F Boissinot	une luzerne de 3 ans, un atout agronomique économique et environnemental	2013	1
2	Glachant CA 77	la luzerne comme plante service	2013	4
3	Coopérative déshydratation de France	méthode IDEA sur la filière déshydratation de la luzerne en France	2011	3
4	Chambre agriculture Bretagne	la luzerne bio - fiche	2001	4
5	CA Bretagne	la luzerne garde son triple A	2012	3
6	MH Jeuffroy	la luzerne dans les système de culture bio	2013	8
7	Alter Agri	la luzerne, clé de durabilité des systèmes de grandes cultures biologiques	2012	4
8	Thiebeau	quel avenir pour la luzerne en France et en europe	2003	18
9	Innovations agronomiques	la luzerne au XXI siècle, quelle place dans les systèmes agricoles actuels et futurs	2013	30

Annexe 3 - Liste des documents distribués lors de la réunion de réflexion avec le groupe d'agriculteurs de la coopérative COREA PC.

Auteurs	Titres	Année	Nb. pages
Arvalis	Chardon des champs - Arvalis	2012	2
Agridea	Chardons des champs -	2012	6
AgroPeps (auteurs affiliés à INRA, IRSTEA, ACTA, ISARA, Chambres- d'Agriculture,)	Fiches issues de la plateforme AgroPeps		
	1 - Adapter le système de culture en fonction du risque de salissement qu'il génère	2011	5
	2 - Cultiver des associations d'espèces annuelles	2011	8
	3 - Définir la stratégie de la campagne de lutte contre les adventices en fonction du risque	2011	6
	4 - Combiner désherbage chimique localisé et binage sur un même outil : désherbinage	2012	6
	5 - Cultiver des espèces diversifiées dans la rotation	2011	7
	6 - Cultiver des espèces étouffantes	2011	6
	7 - Cultiver des espèces pluriannuelles	2012	7
	8 - Cultiver des espèces aux périodes d'implantation variées	2011	5
	9 - Pratiquer le désherbage mécanique - Houe rotative	2011	6
	10 - Pratiquer le désherbage mécanique - Herse étrille	2011	7
10 - Pratiquer le désherbage mécanique - Bineuse kress	2012	5	
Rodriguez A. (ACTA), Prieur L., Laffont L. LEGTA Auch), Prud'homme M. (INRA)	Etude du transfert des réserves carbonnées chez le Chardon des champs (<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.) et conséquences pratiques	2007	13

Annexe 4 -

Guide d'entretiens semi-directifs

*Questionnements liés à l'entretien :**Sur les changements techniques en eux-mêmes, et les liens repérés entre ces changements :*

Les changements techniques énoncés sont-ils organisés chronologiquement seulement ou avec une hiérarchie ? Comment sont-ils liés dans l'énonciation par l'agriculteur ?

Quelles caractéristiques du changement technique, énoncées par l'agriculteur, mettent en lien un temps court et une anticipation, prévision, sur un temps long. Comment les connaissances sont utilisées pour cela ? Quelles connaissances (pour prédire, pour décrire, sur un mécanisme biologique, de modélisation, ...)?

Sur la représentation d'un système, le raisonnement systémique qui alimente/est révélé par ces changements techniques :

Quelles entités sont travaillées, et à quelles échelles, par l'agriculteur en relation avec le changement technique (par exemple pour les cultures : [espace] culture sur toute la sole, culture sur un sol donné, culture dans une parcelle ou une partie de parcelle, groupe de plantes dans un champ, plante individuelle, [temps] à un stade donné ou sur toute une campagne, sur plusieurs années de façon moyennée,...) ? Comment sont-elles mises en interaction conceptuellement (ou matériellement) ?

Est-ce que cela rentre dans la définition d'un système de culture, sinon quelles sont les divergences ?

De façon à comprendre les liens entre ces points précédents et les connaissances :

Quel liens entre **l'objet ou le système d'objets**, concerné par le changement technique, nécessitant une nouvelle connaissance et les natures/formes/caractéristiques de ces connaissances, sur des plans tels que élémentaire-synthétique, abstrait-concret, biomécaniste-fonction assurée, échelle (un problème lié à la MO du sol entraîne savoirs sur sol uniquement ou réfère rapidement à autre échelle)?, etc...

(l'idée est bien de ne pas rester sur une représentation du système pour 1 agriculteur, mais bien de mettre cela en relation avec les connaissances, d'une part celles qui construisent ce type de représentation, d'autre part celles qui sont recherchées/mobilisées en réponse à cette représentation).

Mode de représentation du changement technique conditionnant la construction de la connaissance (complets ou lacunaires, précis ou indéterminés, hiérarchique ? hétérogènes ?, mais surtout quel raisonnement systémique révèle cette représentation énoncée ?)

Quel lien est effectué entre une **finalité recherchée** (prédire, décrire, expliquer un résultat, ...) et la connaissance mobilisée dans l'action, dans les caractéristiques et la nature de ces connaissances ?

Quel 'référentiel', lié à la **situation**, l'agriculteur a pour approcher, comprendre le savoir nouveau. Quels sont les axes de la contextualisation (correspondances d'objets, analogies de situations, gammes de variabilités des facteurs, etc).

Finally, I want to specify the link between knowledge and technical change on several axes :

representation of a system of entities on which actions can be based or have an impact - k

research goal - k

relationship to the situation - k

The link between legitimacy and validity :

In connection with the previous point, is it that technical change passes through a « knowledge void » (Cf. Hatchuel *et al.* 2012). C'est-à-dire est-ce que le changement technique part d'un concept non complètement renseigné par la connaissance du sujet ? **Un indécidable.** Est-ce qu'une connaissance non validée est malgré tout retenue pour orienter l'action ?

Quels savoirs sont **rejetés** ? Quels sont les éléments auxquels l'agriculteur a accès mais n'utilise pas ? Quelles sont leurs caractéristiques ? Est-ce dû à **une mauvaise interprétation, à une articulation non réussie, non possible ou non permise avec d'autres connaissances** ?

(cette nuance sera difficile à voir, ainsi que les connaissances rejetées plutôt inconsciemment, ou par évidence pour l'agri, du coup non évoquées).

Présentation et « contrat » :

« Cette enquête fait partie de mon projet de doctorat à l'INRA, qui va durer 3 ans.

Dans un cadre général de recherche pour la conception de systèmes de culture durables, je m'intéresse aux relations entre un changement technique souhaité par l'agriculteur et les connaissances qui vont être mobilisées pour décider et mettre en œuvre ce changement. C'est-à-dire qu'à partir d'un système de culture cohérent, un changement est choisi, et je m'intéresse à ce qui vous permet de conserver une cohérence, ou de la faire évoluer vers une situation souhaitée. J'essayerai de déterminer ce qui fait que vous allez choisir une technique nouvelle ou une nouvelle organisation de la production, sur quelles informations vous vous appuyez pour un changement technique, quelles preuves vous garantissent un effet attendu. Je regarderai comment vous liez un objectif qui peut être plus ou moins défini, plus ou moins lointain, à un changement technique situé dans l'action présente. La sortie de mon travail est un retour vers ce que cela implique, pour les agronomes, sur les types de connaissances et la façon de les produire pour accompagner les évolutions.

Pour le déroulement de l'entretien, je reste très ouvert aux idées que l'échange vous suggère, même si j'ai quelques thèmes précis en tête, et une idée d'organisation qui est la suivante : je vous demanderai d'abord de me décrire globalement l'exploitation, les différentes productions et leur organisation ainsi que le contexte social et économique, puis nous ciblerons l'entretien sur des modifications techniques précises de votre atelier de grandes cultures. »

Questions posées:

« Pouvez-vous me décrire brièvement l'exploitation : quelles productions sur quelles surface, et leur organisation dans le temps et l'espace, quelle situation sociale et économique? »

Aperçu global de l'exploitation pour être en mesure de relancer la discussion par des questions spécifiques à l'exploitation.

« Est-ce que vous avez des problèmes récurrents sur l'exploitation qui vous amènent à réfléchir à des solutions possibles ? »

« J'aimerais qu'on cible des modifications récemment mises en œuvre, ou que vous aimeriez organiser prochainement sur l'exploitation. Quels changements techniques vous semblent les plus proches ou les plus présents à votre esprit, ou bien ceux pour lesquels vous avez l'impression d'avoir beaucoup réfléchi, ou que vous avez eu du mal à mettre en œuvre? »

Quels changements techniques suffisamment récents pour être bien présents en mémoire, et susceptible d'apporter le plus d'infos sur l'approche systémique. Ce peut aussi être un changement technique envisagé ou en cours, qui se pose plus sous la forme d'un problème. L'organisation des différents changements technique présentés dans le discours peut renseigner sur les liens effectués entre ces changements ou leur importance relative par rapport au système actuel. Sinon préciser avec la question suivante :

« A l'opposé quels sont les éventuels changements techniques que vous avez imaginé mais finalement rejeté, jamais mis en application ? »

« Y'en a-t-il un qui vous semble majeur de votre point de vue ? »

« Comment s'est déroulé ce changement, qu'avez-vous fait concrètement ? Qu'est-ce qu'il vous a amené à faire différemment ? Est-ce que vous avez été amené à faire d'autres changements par la suite, liés à ce premier ? Lesquels ? Est-ce qu'ils avaient été anticipés ? Et avec quelle précision ? »

(par exemple niveau de la technique impactée (ex : conséquences sur le désherbage), ou niveau de la modification de cette technique (ex : faire un désherbage de plus à l'automne)).

Sur quels objets techniques ou conceptuels repose le changement tel qu'il est prévu, (quels indicateurs sont manipulés, appelant quelles connaissances) ?

Qu'est-ce qui est directement en lien avec ce changement dans l'activité et les connaissances qui la supportent, quelles conséquences systémiques sont pensées.

« Quels sont les éléments qui sont concernés par ce changement technique. Et quels sont ceux que vous saviez que vous auriez à prendre en compte avant, et ceux que vous avez mis en relation après le changement ? »

« Quelles connaissances avez-vous cherché pour mettre en place ce changement technique en particulier, auprès de qui ou de quelle ressource ? Quelle connaissance nouvelle vous a éventuellement mis sur la piste de ce changement ? Un changement, ce n'est pas une mince affaire, grâce à quelle information vous étiez confiant dans la réussite du changement ? Au contraire, qu'appréhendiez-vous ? »

« Est-ce que la décision de faire ce changement était liée aux conséquences qu'il pouvait y avoir et que vous ne maîtrisiez pas forcément ? Lesquelles par exemple ?

Qu'est-ce **qui manquait comme savoir** pour évaluer ces conséquences, quel savoir nouveau les éclairent? »

« Qu'est-ce qui, en **particulier dans votre exploitation**, est déterminant pour ce changement technique ? Ce que vous avez appris pour effectuer ce changement technique, par une information, une référence ou un autre type de ressource, a-t-il été modifié ou complété pour agir dans votre propre exploitation ? »

« Quelle **connaissance vous a manqué** pour mener ce changement technique ? Lesquelles avez-vous **acquis pour cela, c'est à dire qu'est-ce que vous avez appris dans le contexte de ce changement technique ? Où et grâce à quoi ?**

A l'opposé, qu'est-ce qui vous manque encore ?

Enfin, qu'est-ce qui ne vous a pas aidé pour agir dans ce changement, pour l'organiser ? Des choses nouvelles mais que vous n'avez **pas utilisé** ?

D'une façon plus générale, qu'est-ce que vous trouvez non pertinent (je parle d'informations, de références, d'essais, ...) pour ce changement en particulier? Y a-t-il des choses auxquelles vous avez facilement accès mais qui ne vous font pas avancer ? »

« En réaction, est-ce que vous allez regarder ce qui pourrait vous être utile dans des **sources d'informations non habituelles** (type internet ou autre) ? Je ne souhaite pas lister toutes ces sources mais plutôt sur un exemple, savoir comment est venue l'idée de regarder telle source, et quelle avancée cela a permis ou non ? »

Je vise à la fois la motivation de départ du type lacune de connaissances ou impossibilité de les compiler, les connaissances recherchées et leurs caractéristiques.

Annexe 5 - Citations issues des entretiens illustrants les résultats du chapitre III, Partie 3

	1	2
Case studies	Organic farmers meeting about perennial weed control	System experiment visit with a group of farmers decreasing their use of pesticide
4.1 Focused, partial, fundamental, often qualitative knowledge is used and may unlock situations of change	<p>Thistle's life cycle and the dynamics of its root reserves were particularly developed: <i>"During the winter, there is no photosynthesis, so the reserves do not increase. On the contrary, they even decrease in order to ensure the survival of the Thistle. In early spring, root reserves are used to allow for the production of the first stems and first leaves. Then, at the 6-8 leaves stage, the plant becomes autonomous, photosynthesis by leaves allows the Thistle not to depend on the root reserves, and to rebuild. Then, from the end of spring, mid-late spring, root reserves are used to produce seeds. Therefore reserves decrease a little, reaching a minimum at the beginning of the flowering stage. Then, so from the beginning of flowering stage, the reserves begin to recover, they increase, and it is stimulated by decreasing temperatures, and with purpose to allow the plant to survive the next winter"</i></p>	<p>Main worm species: epigeal, endogean, anecic their respective position and moves into the soil layers and depth. More knowledge was asked about worms' reproduction and life cycle</p>
4.2 The knowledge mobilized by a farmer is that which can be linked to his action.	<p>Pattern 1: - The use of tine or disc tools for soil cultivation may cut roots and stimulate the growth of new stems They even asked further, if regrowth corresponds to new suckers, or just the same stem regrowing. Also, as they knew the depth of soil cultivation with the tools they use, they asked to specify the mean depth of rhizomes, to deduce possible cuttings.</p> <p>Pattern 2: - <i>"If the root is broken down, there is a new bud on this root which grows, and then when we mow it, what does the new rhizome become? Does it disappear if we mow it 2-3 times or with low reserves does it grow again next year and will it multiply?"</i></p> <p>Pattern 3: - 5% propagation through seeds explained low effectiveness of Thistle topping.</p> <p>- They reconsidered some classical ideas, such as the fact that letting stems regrow was ultimately a positive thing for reserve depletion.</p> <p>Pattern 4: - Indicator: the 6-8 leaves stage of Thistle corresponds to its lowest reserves</p>	<p>Pattern 3: - Farmers had already linked repeated soil cultivation with surface tools to the destruction of worm species moving vertically. However, they needed knowledge on life cycles and populations' dynamics in order to reinterpret the long-term effect of cultivation actions.</p> <p>Pattern 3: - The depth of soil infested by aphanomyces was directly associated with the sowing date and rooting depth at spring, when infection can develop. The soil conditions favouring aphanomyces were directly related to compacting by sowing machines. The spatial spread of infection deduced from crop vigour was an indicator directly related to sowing practices (date, machine, etc).</p>
4.3 The reformulation of individual experiences, helped by fundamental knowledge, makes them useful for others	<p>A farmer reformulated the different experiences around knowledge about the dynamics of thistle reserves, which made it possible to understand differences in results, and gather techniques based on these to design new practices for the situation at stake.</p> <p>Successive meadow mowing was not working: <i>"because in meadows the thistle patches are cut at least twice if not three times a year, and the patch remains in the same place, doesn't enlarge, and it's been 15 years that it's like that. While 3 years of alfalfa, that virtually rectifies almost all thistles. It may also be a matter of timing because alfalfa is attacked in May."</i></p> <p>-> confirms and specifies the function of alfalfa in competition with thistles, alfalfa crops push the weed to grow for light and exhaust its reserves.</p>	<p>One farmer mentioned that he observed an increase in worm populations in his own field. Although he first said that there had been no practice changes, questions from the others then identified that ploughing and stubble ploughing were reduced by 60%. It confirmed the effect of surface soil cultivation, but could not be interpreted in a long-term analysis.</p>
4.4 The main processes farmers apply to link generic knowledge to their own system	<p>Process 1: - "Reserves are built during the summer, come the 15th October we are in a dormant phase. So mowing alfalfa crop that was sown under cover to 15 October, it would have zero effect on thistle. In any case it will be less than if there was a tillage to sow alfalfa."</p> <p>Process 2: - On the 5% rate of reproduction via seeds, a farmer needed to specify what was the natural process, and what resulted from farming practices preventing flower maturation (topping): <i>"But you say that there is only 3 to 5% of Thistle plants which come from seeds, but it is because we avoid flowering? or this is even for a wild system?"</i></p> <p>Combined processes: - The farmers discussed the interactions with the presence of cover-crops, i.e. no soil tillage possible. They assumed that successive mowings may also participate in the reserves' depletion: managing the interaction between practices required the reverse approach, leveraging the mechanism of exhaustion through other actions. <i>"But there is no soil cultivation eh... We could also exhaust the reserves by frequently mowing the Thistle. Well that is what happens with lucerne, we don't touch the soil but we exhaust."</i></p> <p>Additionally, they guessed that a cover-crop competing for light may reduce the photosynthesis mechanism, which would reduce the accumulation of reserves. The mechanism was situated and interaction with other techniques was tackled. Because they knew that in their climatic conditions some mowing may not be possible, they were concerned with the balance between exhaustion and multiplying of thistle's rhizomes.</p>	

	3	4
Case studies	A farmer's implementation of stubble ploughing, cover crops, in a minimum-tillage system	A farmer's implementation of a minimum tillage cropping system
4.1 Focused, partial, fundamental, often qualitative knowledge is used and may unlock situations of change	<p>Basic elements on carabid species provided by a specialist: <i>"We had training with [Mr R.] who was the beetle specialist in France, working with the University of Orleans, who gave a day of presentations, so he taught us lots of stuff about beetles".</i></p> <p>The farmer also mentioned the value of knowledge on cover crop species' traits and the characteristics of their nutrient uptake: <i>"Not just see what it returns in terms of nitrogen, but in terms of phosphorus, sulfur, I don't know manganese, iron, full of things. And all these data are not available. [...] Draw the dynamic curves corresponding to nitrogen, phosphorus, sulfur."</i></p>	<p>Basic knowledge on soil biology: <i>"The starting point is the life of the soil. I trained on the life of the soil, on diseases"</i> <i>"The basics are the soil life, simply saying that there are layers to be explored by roots, the soil life but simply with microbes."</i> <i>"The soil nourishing solution with nutrient which are in the soil, it doesn't go directly to the roots, it goes through the microorganisms to ultimately nourish the plant."</i></p> <p>Disease identification and spreading dynamics: <i>"Well I know how to recognize it, I know the time it takes to jump from leaves to leaves. If it is explosive according to the weather, if you can, wait".</i></p>
4.2 The knowledge mobilized by a farmer is that which can be linked to his action.	<p>Pattern 1: - The depth at which carabid species reproduce is directly linked to the depth of soil disruption by a tool, either directly or by vibrations produced: <i>"And [he] told us, as soon as you plough below 10cm, you kill the carabids. Because the carabids reproduce themselves between 17 and 18cm. Any soil vibration beyond 10cm disturbs their habitat, destroys it".</i></p> <p>Pattern 2: - He built his reasoning based on a 5 to 10cm depth of soil ploughing.</p> <p>Pattern 3: - <i>"Any vibration of the ground beyond 10 cm disrupts its habitat, destroys it. Well that's an element you should know. Then after when we say there are lots of slugs everywhere people are increasingly using slug pellets, that's it you must know the basics."</i></p>	<p>Pattern 1: - The type of system was related to the roots growth dynamics and led to new knowledge being required: <i>"How do the roots work, if they stop, because even in no-ploughing systems..."</i></p> <p>Pattern 2: - new indicators: the actual rooting of a plant: <i>"I pull up one or two plants and I look at the roots";</i> the consistency of clods of soil: <i>"Now we see if it's butter, so the tractor stays at home."; "we make a clod with the spade and we try to analyse the friability, the toughness.";</i> the humus content for the potential biological activity of the soil: <i>"My humus content rises, it falls for livestock farmers and yet they put manure, so it comforts me, and I try to maintain proper humus content or make it evolve".</i></p> <p>Pattern 4: - indicator to anticipate the spread of infection and trigger treatment: <i>"My 5th leaf was infected, the others were not, I won't spray."</i></p>
4.3 The reformulation of individual experiences, helped by fundamental knowledge, makes them useful for others	<p>Stubble plough: <i>"People told me it was better not to stubble too much, not too deep, things like that. We didn't see much use for that, on the contrary we thought that we would stubble a bit deep, and mix the straws, it's less constraining, there are fewer weed problems. But really, the reason they told us that is because the seeders then, we were unable to hold them! as they are seeders which are very heavy, they tended to sow deeply and so we lost in tillage capabilities."</i></p> <p>- The depth of soil ploughing was also used as an indicator to compare practices among the group, and interpret the different results in terms of weed management.</p>	
4.4 The main processes farmers apply to link generic knowledge to their own system	<p>Process 2: <i>"So if you want to ensure that beetles counterbalance the presence of slugs, you must make sure that they develop, so if we want to ensure growth, just for the beetle you mustn't go down below 10 cm. This is the detail, but added that detail plus another plus one plus one."</i></p>	<p>Process 1: - The rooting depth of crops up to 2 meters was the element of the mechanism that explained nutritional capacities. It was verified in the particular situation (soil pit).</p> <p>Process 2: - The farmer summed up his understanding by referring to the non-situated properties of species (e.g. vertical soil-dwelling worms), and the relationship between these and the action (e.g. soil tillage): <i>"So that's what ploughing is, it is a whole life in soil, anaerobic life, all the microbes you bother them all, earthworms going up vertically ... the vertical soil-dwelling, you break their pipe, their tubes. So once you have it you think that the soil's life doesn't work a lot. And if you have a good life in the soil, the plant also lives well. It is an understanding that you build in your head. [...] They feed the plant, the soil is a support, while for me it's the soil that sustains the plant."</i></p> <p>Process 3: - <i>"If we get to wheat or corn monocrop, that is to say, the engineer is not against it, but he said you have only one bacteria working, only one element. Because there are bacteria that associate to the root of wheat, which associate to the root of .. So the more we have a diversified rotation, that's what I have taken away from this, the more we diversify our soil life because we have all bacteria working. The cover crops have other bacteria working."</i> Here he links the consequences of monocultures and the effect of diversified cover crops on bacterial communities of soils. Thinking about the various practices of the cropping system and their complementary or antagonistic effects was made possible by knowledge on bacterial diversity.</p>

Case studies	Co-development of weed management strategies in low-input cropping systems
4.1 Focused, partial, fundamental, often qualitative knowledge is used and may unlock situations of change	<p>Weeds' life traits: A facilitator mentioned: <i>"These are fundamental elements such as the recognition of weed species, which are essential tools for a farmer, and which are not developed enough in traditional information. That's why I tell you that the tool is very useful. I could learn, for instance, what I didn't know, that to stubble plough in august is useless if your goal is to suppress the grasses, because they don't emerge ."</i></p>
4.2 The knowledge mobilized by a farmer is that which can be linked to his action.	<p>Patterns 1 and 2: <i>"What is important is actually that there is a bit of theoretical knowledge, well, not theoretical, knowledge on the biology of weeds, but it's to see what are the important elements of these weeds' biology that can be applied to actionable levers in terms of agricultural practices, very concrete practices."</i> (a facilitator).</p> <p>Pattern 3: <i>"yes yes for sure, and it explained things we observed sometimes in the fields, we said "well it's weird, there is a part I ploughed a part I didn't plough, why are there more weeds on this one and not on that one?". We didn't know how to explain it all. So that's when we had the biology of weeds that we could understand, and sometimes simply a shift to 10 days because we worked at the time, a false seedlings at the right time so we favoured, it worked well up, if you do it 15 days too early or 15 later it's not at all the same impact, so it's all the things we did not know."</i> (a farmer)</p>
4.3 The reformulation of individual experiences, helped by fundamental knowledge, makes them useful for others	<p><i>"Yes, but it is known that the decay rate of a goosefoot is 250 years, well it must be something like that, it's huge. I don't know how much it is, but it's huge. One thing for instance, I missed my weeding on beets two years ago, it was full of goosefoot. The first thing they told me, especially don't plough. Use a chisel to clear up. So I didn't plough my beets. so that's it actually, but it's direct applications ."</i> (a farmer)</p>
4.4 The main processes farmers apply to link generic knowledge to their own system	<p>Processes 1 and 2: <i>"And then there was also the depth of germination, which doesn't play heavily in our cropping systems, but for large seeds such as wild oats, that can happen in some plots, ploughing has no effect because it's a plant that germinates deeply because it's big and has energy reserves. In fact it's with these three simple levers, three elements of the weeds' biology that we could explain the impact of a certain number of very concrete practices by farmers. Tillage, stubble, sowing date, crop sequence."</i></p> <p>Process 2: <i>" Well I will take a simple example, we talked earlier about foxtail, we discovered what we didn't know, that's the story that the foxtail seed had a lifespan that was limited, so when we deeply buried it, if we don't raise it the following year but only two years later, we already have a percentage, I don't know, it has to be 60 to 70% of seeds which are no longer viable. So this is a tool we didn't know. So by making choices like that, ploughing once and not after, we know we can manage foxtail."</i></p>

Title : Generate actionable knowledge for the step-to-step re-design of cropping systems towards agroecology.

Keywords : cropping systems, re-design, knowledge, action, technical change, agroecology.

Abstract :

The need to rethink production practices in agriculture, in order to meet the new challenges associated, is now widely recognized. Agronomists generate innovative knowledge, both of new objects (e.g. diversified crops, semi-natural or auxiliary elements) and natural processes (e.g. biological regulations), geared towards new functions as well as tools and methods for design. However, effective application to specific situations involves re-designing processes, that include a variety of technical changes implemented over a long term scale, as well as learning a host of new approaches. We have studied first the knowledge dynamics of mobilisation and construction, to understand how they allow the farmer to act in these situations marked by strong uncertainties, the need to adapt practices to local environments, and the need to anticipate on long-term events.

Given the choice of a disciplinary placement in agronomy, we have focused our study on agronomic knowledge. Using an inductive approach, we first conducted individual interviews with farmers producing arable crops, at different stages of progress in re-designing, as well as a review of the literature (both technical and scientific press) and of the knowledge regarding three techniques applying agroecological principles. Such initial analyses enabled us to build a framework for the characterization of knowledge contents, which we then remobilized for the purpose of retrospective study of a re-design project, conducted over 9 years with 8 farms in the French Picardy region (2003 to 2012). We were able to highlight dynamics of knowledge mobilization during the process. A confrontation of these dynamics with the knowledge proposed by agronomists led to identify inconsistencies.

Subsequently, we addressed a larger variety of re-design situations, either through individual interviews, or design workshops with groups of farmers, or knowledge-sharing meetings and visits to cropping systems experimentations. We focused on the indicators applied by farmers and their functions in farmers' actions and learning, as change was being conducted. While agronomists produce a wide variety of indicators to assess the performances and impacts of the practices or production systems, we have shown that farmers apply more indicators related to the intermediate states of the agroecosystem, thus allowing more advanced adaptation and monitoring of the actions taken, further reinterpretation, and in the end, issuing new knowledge. Such indicators being seldom conceptualized and produced by agronomists so far, we include further in this study a number of key attributes as guidelines for later development.

Finally, we have called on the formerly established types and categories used in the previous steps to analyse combinations of knowledge that helped unlock change situations, with a particular focus on 'fundamental' knowledge (i.e. relating to biological, physical or ecological processes, or to the biology of cultivated or non-cultivated species). These categories are linked to the knowledge gained about practices and their effects. The fundamental knowledge appeared instrumental in building a systemic representation of a part of the cropping system, which validates innovative onfield actions and makes new agronomic knowledge more widely transferable.

In the field of professional didactics, we start from cropping systems re-design situations, to explore various aspects of knowledge pragmatism in the agricultural sector. Regarding agronomy, we offer tools to identify the processes of creation and mobilization of knowledge, and the ways agronomists can provide knowledge support to make new developments of cropping systems a goal within reach.

Titre : Produire des connaissances actionnables pour la re-conception pas-à-pas de systèmes de culture vers l'agroécologie.

Mots clés : système de culture, re-conception, connaissances, action, changement technique, agroécologie

Résumé :

La nécessité de reconcevoir les façons de produire en agriculture, pour répondre aux nouveaux enjeux qui y sont associés, fait maintenant consensus. Les agronomes produisent des connaissances concernant à la fois de nouveaux objets (e.g. cultures diversifiées, éléments semi-naturels, auxiliaires) et des processus naturels (e.g. régulations biologiques) pour obtenir les fonctions attendues, ainsi que des outils et méthodes pour la conception. Cependant, leur mobilisation efficace dans les situations particulières implique leur intégration dans des processus de re-conception, comprenant une diversité de changements techniques appliqués sur un temps long, ainsi que de nombreux apprentissages. Nous avons étudié les dynamiques de mobilisation et de construction de connaissances pour comprendre comment celles-ci permettent à l'agriculteur d'agir dans ces situations marquées par les fortes incertitudes, la nécessité d'adapter les pratiques aux environnements locaux, et le besoin d'anticipation sur des temps longs.

Compte tenu du choix d'un placement disciplinaire en agronomie, nous avons focalisé notre étude sur les connaissances agronomiques. Dans une démarche inductive, nous avons d'abord réalisé des entretiens individuels avec des agriculteurs en grandes cultures, à différents stades d'avancement dans la re-conception, ainsi qu'une revue bibliographique (à la fois des presses techniques et scientifiques) des connaissances concernant trois techniques mobilisant des principes agroécologiques. Ces premières analyses nous ont permis de construire un cadre de caractérisation des contenus de connaissances, que nous avons ensuite remobilisé pour une étude rétrospective d'un projet de re-conception menée sur 9 ans avec 8 fermes en Picardie (de 2003 à 2012). Nous avons pu mettre en évidence une dynamique de mobilisation de connaissances au cours des changements. Une confrontation de cette dynamique aux connaissances proposées par les agronomes a permis d'identifier des discordances.

Par la suite, nous avons abordé une plus grande diversité de situations de re-conception, à la fois par des entretiens individuels, des ateliers de conception avec des groupes d'agriculteurs, des réunions de partage de connaissances, et des visites d'essais systèmes. Nous nous sommes intéressés aux indicateurs mobilisés par les agriculteurs et les rôles qu'ils jouent dans leur action lors du changement. Alors que les agronomes produisent une grande diversité d'indicateurs pour évaluer les performances et les impacts des pratiques ou des systèmes de production, nous avons montré que les agriculteurs mobilisent davantage des indicateurs qui rendent compte d'états intermédiaires du milieu, qui permettent l'adaptation et le monitoring des actions réalisées, ainsi que leur réinterprétation, menant à des apprentissages. Ces indicateurs sont peu conceptualisés et produits par les agronomes, et nous donnons des attributs clés pour orienter leur développement.

Enfin, nous mobilisons les typologies établies dans les précédentes étapes pour analyser les combinaisons de connaissances qui ont permis de débloquent des situations de changement, avec une attention particulière aux connaissances 'fondamentales' (portant sur les processus biologiques, physiques, écologiques, ou sur la biologie des espèces cultivées et non cultivées). Elles sont mises en relation avec les connaissances sur les pratiques possibles et leurs effets, et interviennent dans la construction d'une représentation du fonctionnement d'une partie du système de culture, qui légitime l'action et permet de transposer des observations d'une situation à d'autres.

Dans le champ des didactiques professionnelles, nous explorons, à partir des situations de re-conception de systèmes de culture, certains aspects de pragmatisme des connaissances dans le domaine agricole. Pour l'agronomie, nous proposons des outils pour identifier des processus de création et mobilisation de connaissances, et la façon dont les productions des agronomes peuvent les permettre et les accompagner pour rendre possible des évolutions souhaitables des systèmes de culture.