Repenser la capitalisation et le partage des connaissances pour le changement de pratiques vers l'agroécologie : proposition d'un cadre socio-cognitif à partir d'une démarche centrée utilisateur

Maude Quinio

▶ **To cite this version:**

Maude Quinio. Repenser la capitalisation et le partage des connaissances pour le changement de pratiques vers l'agroécologie : proposition d'un cadre socio-cognitif à partir d'une démarche centrée utilisateur. Sciences agricoles. Université Paris-Saclay, 2021. Français. NNT : 2021UPASB031 . tel-03483446v2

HAL Id: tel-03483446
https://pastel.hal.science/tel-03483446v2

Submitted on 5 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse de doctorat

NNT : 2020UPASB031

université PARIS-SACLAY

Repenser la capitalisation et le partage des connaissances pour le changement de pratiques vers l'agroécologie : proposition d'un cadre socio-cognitif à partir d'une démarche centrée utilisateur

Reshape knowledge capitalisation and sharing to support the change of practices towards agroecology, a socio-cognitive framework based on a user-centered approach

Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n° 581, agriculture, alimentation, biologie, environnement et santé (ABIES)
Spécialité de doctorat: Sciences Agronomiques
Unité de recherche : Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR Agronomie, 78850, Thiverval-Grignon, France.
Référent : AgroParisTech

Thèse présentée et soutenue à Paris-Saclay, le 01/07/2021, par

Maude QUINIO

Composition du Jury

Stéphane DE TOURDONNET Professeur, Institut Agro - Montpellier SupAgro	Président
Flore BARCELLINI Professeure, CNAM	Rapporteure & Examinatrice
Guillaume MARTIN Directeur de recherche, INRAE, Centre Occitanie-Toulouse	Rapporteur & Examinateur
David LAFOND Ingénieur, Institut de la Vigne et du Vin	Examinateur
Lorène PROST Chargée de recherche, INRAE, Centre IdF-Versailles-Grignon	Examinatrice

Direction de la thèse

Marie-Hélène JEUFFROY Directrice de recherche, INRAE, Centre IdF-Versailles-Grignon	Directrice de thèse
Françoise DÉTIENNE Directrice de recherche, CNRS, Institut Polytechnique de Paris	Co-Encadrante & Examinatrice
Laurence GUICHARD Ingénieure de recherche, INRAE, Centre IdF-Versailles Grignon	Co-Encadrante

Avant propos

Ce travail a été financé par une bourse de thèse accordée par l'IDEX Paris Saclay.

La démarche s'est inscrite dans le cadre du projet Formalisation des Connaissances pour la Conception de systèmes de culture économes en produits phytosanitaires (FORCOCO) financé par l'Office Français de la Biodiversité (OFB) dans le cadre du plan Ecophyto II (2018-2020). Ce projet a été piloté par l'INRAE, l'UMR Agronomie.

FORCOCO Formalisation des Connaissances pour la Conception de systèmes de culture économes en produits phytosanitaires

Ce travail a été réalisé en collaboration avec plusieurs organismes de développement agricole : la Chambre d'Agriculture Régionale de Normandie, la Chambre d'Agriculture Régionale de Bourgogne Franche-Comté, Agro-Transfert Ressources et Territoires, le Groupement d'Agriculteurs Biologiques d'Île-de-France et le Lycée Agricole Edouard de Chambray. Le cas d'étude de la thèse est un outil administré par l'Association de Coordination Technique Agricole (ACTA).

INRAE la science pour la vie, l'humain, la terre

acta LES INSTITUTS TECHNIQUES AGRICOLES

TELECOM Paris IP PARIS

Ecole Doctorale ABIES

Remerciements

Je remercie Mr Stéphane de Tourdonnet d'avoir accepté de présider ma thèse ainsi que Mr Guillaume Martin et Mme Flore Barcellini pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Lorène, merci pour tes questions durant ma soutenance, j'espère que nous trouverons ensemble les réponses dans le projet BE CREATIVE. Je suis ravie d'avoir l'opportunité de travailler avec toi.

David, merci pour ta participation active aux différentes activités durant ma thèse. C'était ton premier jury de thèse et j'espère que tu auras envie de renouveler cette expérience !

Je remercie bien entendu mes encadrantes.

Marie-Hélène, comment te remercier après toutes ces années si riches passées à tes côtés ? Merci pour ta patience, ton partage et ta réactivité. Je suis admirative de tous les projets que tu entreprends en même temps. J'espère que nous pourrons continuer nos échanges dans de futurs projets de recherche.

Françoise, merci de m'avoir fait partager tes compétences et d'avoir bien voulu apporter des réponses à mes nombreuses questions en ergonomie cognitive. J'espère que l'agroécologie n'aura plus de secrets pour toi !

Laurence, merci pour ces premiers mois de thèse, pour ton enthousiasme et tes encouragements.

Paola, mon binôme de travail, merci pour ton amitié sans faille, tu sais combien elle m'a été précieuse.

Je tiens aussi à remercier les membres de mon « grand » comité de pilotage : mes encadrantes, Juliette Brun, Marianne Cerf, Jean-Marc Meynard, Marie-Sophie Petit, Marianne Sellam, Vincent Soulignac et Paola Salazar.

Je remercie également Elise Favrelière, Aïcha Ronceux, Anicé Anger, Claire Cros, Sarah Pascal, Caroline Fournial, Bastien Paix, Antoine Gardarin, Thibault Lefeuvre, Gabriele Fortino, Marie-Christine Legrand, Caroline Tostain, Jean-Robert Moronval, Béatrice Huet, Matthieu Perraudin, Sophie Gardette, Gwendoline Lechat, Anne-Gaëlle Cabelguen, Marie Chave, Anne-Sophie Voisin et Marie-Sophie Petit qui ont offert à cette thèse de beaux terrains de recherche. Matthieu, merci pour toutes tes contributions autour de GECO.

Je remercie chaleureusement tous les participants aux ateliers et aux enquêtes : les agriculteurs, les acteurs de la R&D agricole et les acteurs impliqués dans la gouvernance de GECO.

Merci à l'ensemble des collègues de l'UMR Agronomie. Je remercie tout particulièrement Michèle Fanucci pour son aide précieuse. Merci à Mathilde et Margot, mes anciennes collègues de bureau, pour votre soutien et les bons moments partagés ensemble. Margot, nous aurons de nombreuses occasions de nous retrouver à Grignon ! Célina, merci pour nos marches durant le confinement qui ont permis de prendre des bols d'air frais. Et Sophie, merci pour ces moments de détente couture !

Il m'est difficile de remercier toutes les personnes qui ont pu contribuer de près ou de loin à cette thèse, et qui ont manifesté leur soutien par des moments de partages et d'attentions. Elles sont nombreuses et ont été essentielles au développement de ce projet et à mon épanouissement personnel. Je suis certaine qu'elles se reconnaitront et j'espère qu'elles ne me tiendront pas rigueur de ne pas toutes les citer. Merci, car vous avez largement contribué à rendre cette aventure plus facile.

Sur un plan plus personnel, je remercie mes parents, ma famille, mes proches et Arnaud pour leur soutien et leurs encouragements durant cette thèse.

Sommaire

Introduction générale 1

Problématique de recherche 5

1. La conception de systèmes agroécologiques 5

1.1. Les dimensions de l'agroécologie 5

1.1.1. L'évolution des définitions de l'agroécologie 5

1.1.2. Les pratiques qualifiées d'agroécologiques et l'évaluation de ces pratiques 7

1.2. Les caractéristiques des systèmes agroécologiques 9

1.2.1. La cohérence des pratiques agricoles, centrale en agroécologie 9

1.2.2. Des systèmes agroécologiques qui reposent sur une logique systémique et située 9

1.2.3. Les processus naturels valorisés par les systèmes agroécologiques sont instables 11

1.2.4. Des systèmes agroécologiques conçus par les agriculteurs 11

1.3. La conception de systèmes agroécologiques 13

1.3.1. Les caractéristiques de la conception de systèmes agroécologiques 13

1.3.2. Des communautés de pratiques pour favoriser la conception de systèmes agroécologiques 18

2. Les apports de l'ergonomie cognitive sur le processus de conception 21

2.1. Définitions du processus de conception issues de l'ergonomie cognitive 21

2.1.1. Une activité de résolution de problèmes 21

2.1.2. La conception, une activité de construction de représentations 21

2.2. Les différentes activités dans un processus de conception 23

2.2.1. La structuration du problème de conception 23

2.2.2. Le développement/génération d'une solution 24

2.2.3. L'évaluation des solutions (la mise en œuvre) 25

2.3. Les spécificités de la conception collective 26

3. Les connaissances mobilisées dans des processus de conception et la capitalisation des connaissances issues de ces processus 28

3.1. Les connaissances pour concevoir les systèmes de culture agroécologiques 28

3.1.1. Diversité de connaissances mobilisées 28

3.1.2. Mobilisation de connaissances pour comprendre, et pour agir 29

3.2. La capitalisation et le partage de connaissances 31

3.2.1. Le foisonnement d' « outils » de capitalisation et de partage des connaissances 31

3.2.2. AgroPEPS / GECO, un outil de capitalisation collective et de partage de connaissances pour la conception 35

3.3. Des structures de connaissances génératives 38

4. Le développement d'outils avec les utilisateurs 42

4.1. L'implication des utilisateurs dans la conception de nouveaux outils 42

4.1.1. Les méthodes mobilisées en agronomie 42

5. Problématique et démarche générale 44

Chapitre 1 : Caractériser la conception de systèmes agroécologiques, dans une diversité de situation de co-conception, pour identifier les fonctionnalités d'un nouvel outil d'aide à la conception 47
1. Introduction 49
2. Materials and methods 51
2.1. Theoretical background 51
2.2. General method and description of case studies 51
2.3. Data analysis 52
3. Results 55
3.1. Features of co-design situations 55
3.1.1. Co-design situations differed in design goals, designers and designed objects 55
3.1.2. The diversity of uses of existing tools during the design workshop 55
3.2. Features of the design process during co-design workshop 57
3.2.1. Designers and facilitators reformulated the design goal whether it was specific or broad 57
3.2.2. Exploration of solutions : type of reasoning and mobilisation of knowledge 59
3.2.3. Local adaptation of the solutions and preparation of their implementation : type of reasoning and mobilisation of knowledge 62
4. Discussion 65
4.1. Learnings and shades from design in workshop 65
4.2. Design support tools should promote knowledge sharing 65
4.3. Design-support tools should promote several types of reasoning 66
4.4. Design-support tools should promote the construction and sharing of external representations 67
5. Conclusion 68
Acknowledgments 68

Chapitre 2 : Produire de ressources cognitives pour favoriser les phases de divergence et convergence, pendant l'exploration des solutions agroécologiques 69
1. Introduction 72
2. Materials and methods 75
2.1. Theoretical insights of ways to foster divergence and convergence 75
2.2. Development of prototypes of knowledge-structured resources 76
2.3. User tests of resources prototypes 77
3. Results 80
3.1. Features of knowledge-structured resources to support design 80
3.1.1. Description of the function based resource 80
3.1.2. Description of the biology-based resource 82
3.1.3. Description of the experience-based resource 84
3.2. Results from prototype tests with users : resources support design and facilitators in their multi-facet explorations 85
3.2.1. Facilitators used the resources to prepare and manage exploration during a design wokshop, without showing the whole resource 85
3.2.2. Designers and facilitators presented the resources to stimulate exploration 86
3.2.3. Facilitators used the resources to formalize the outputs of an exploration within a group 87
3.3. Results from prototype tests with contributors : issues of capitalisation 88

4. Discussion 93
4.1. Complementary features of cognitive resources to support agroecological system design 93
4.1.1. Cognitive resources encourage the exploration of new functions 93
4.1.2. Biological knowledge, as expansive knowledge to foster divergence 94
4.1.3. Experience-based resource, as expansive example to foster exploration 94
4.1.4. Complementary features of design-support resources 95
4.2. Fostering collective design of cognitive resources 95
4.2.1. Issues about inter- and intra-groupe reuse of the design-based resources, and their production over time 95
4.2.2. Questioning the dichotomy between designer-users and contributors 96
5. Conclusion 97

Chapitre 3 : Favoriser la capitalisation des connaissances pour soutenir des activités de conception de systèmes agroécologiques par le développement d'une communauté épistémique en ligne 98
1. Introduction 99
1.1. Les caractéristiques de la conception de systèmes de culture agroécologiques 99
1.1.1. La conception de systèmes de cultures agroécologiques est organisée dans des communautés de pratiques 99
1.1.2. Les connaissances hétérogènes mobilisées dans un processus de conception de systèmes agroécologiques 102
1.1.3. La capitalisation des connaissances : une activité d'acteurs de terrain engagés dans la conception 103
1.1.4. Les communautés épistémiques en ligne engagées dans la production et le partage de connaissances 104
1.2. Développement de GECO, un outil de gestion des connaissances 105
1.2.1. AgroPEPS, et le RMT Systèmes de Culture Innovants 105
1.2.2. GECO, l'ACTA et les ministères 106
1.3. Problématique 109
2. Matériels et méthodes 109
2.1. Cadrage théorique sur les communautés épistémiques en ligne 109
2.2. Réalisation d'entretiens semi-directifs 112
3. Résultats 113
3.1. Motivations et difficultés de la capitalisation et du partage des connaissances pour soutenir l'activité de conception de systèmes agroécologiques 113
3.1.1. Pratiques actuelles de capitalisation et de partage des connaissances et leurs limites 113
3.1.2. Des valeurs autour du partage de connaissances visant à aider le changement de pratiques par d'autres 114
3.2. La capitalisation et le partage de connaissances dans GECO 115
3.2.1. La capitalisation des connaissances empiriques, issues de l'action 115
3.2.2. Intérêts et difficultés de la mise en œuvre de la capitalisation collective 116
3.2.3. Intérêts et difficultés de la mise en œuvre de la capitalisation évolutive 118
3.2.4. Avantages et limites d'une participation volontaire ou obligatoire, financée ou gratuite 119
3.3. La question de l'articulation entre la production et l'usage de ressources 120
3.3.1. La faible articulation actuelle entre la production et l'usage de ressources 120
3.3.2. Une nécessité pour le futur : soutenir l'animation de la capitalisation des connaissances 121

4. Discussion 127
4.1. Quel est l'intérêt de développer une communauté épistémique en ligne centralisée et nationale ? 128
4.2. Comment animer et maintenir une telle communauté épistémique en ligne ? 129
4.2.1. Pistes pour favoriser l'articulation entre production et usage des ressources 129
4.2.2. Pistes pour favoriser les prises de décisions au sein de la CEL 132
5. Conclusion 133

Discussion générale 134
1. La capitalisation des connaissances pour soutenir la conception de systèmes agroécologiques : la dimension cognitive 135
1.1. La production de nouvelles ressources cognitives pour soutenir la génération de solutions et pour partager plus largement des connaissances 135
1.2. Les enjeux liés à la capitalisation des connaissances sur les systèmes agroécologiques 138
2. La capitalisation des connaissances pour favoriser la conception de systèmes agroécologiques : la dimension sociale/collective 140
2.1. Des pistes pour soutenir la capitalisation collective 140
2.1.1. Des dispositifs pour soutenir la capitalisation synchrone 140
2.1.2. Des dispositifs pour soutenir la capitalisation asynchrone 142
2.1.3. La capitalisation au sein des communautés de pratiques 142
2.2. Les modèles de gouvernance 143
3. L'usage des ressources cognitives pour accompagner le processus de conception de systèmes agroécologiques 145

Conclusion générale 147

Références bibliographiques 148

Annexes 148

Liste des Figures 176

Liste des Tableaux 178

Liste des acronymes en français

AAC : Aire d'Alimentation de Captage

AB : Agriculture Biologique

ACTA : l'Association de Coordination Technique Agricole

APAD : Association pour la Promotion d'une Agriculture Durable

CEL : Communauté Épistémique en Ligne

COP : Communauté de Pratique

CIVAM : Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural

DEPHY : Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en pHYtosanitaires

DGAL : Direction Générale de l'Alimentation

GECO : (l'outil) GEstion des COnnaissances

GEPACO : Groupes d'Echanges et de Partage des Connaissances

GIEE : Groupements d'Intérêt Économique et Environnemental

GIS : Groupement d'Intérêt Scientifique

IAE : Infrastructure Agroécologique

RMT : Réseau Mixte Technologique

SDC(i) : Système de Culture (Innovants)

TAE : Transition agroécologique

Liste des acronymes en anglais

BBR : Biology-Based Resource

CS : Cropping System

EBR : Experience-Based Resource

FBR : Function-Based Resource

Introduction générale

Les systèmes agricoles doivent aujourd'hui répondre à de multiples demandes sociétales et à des enjeux économiques, environnementaux et sociaux. Les objectifs ont été définis à différentes échelles. Ainsi, à l'échelle globale, des engagements internationaux ont été pris pour permettre une réduction significative des émissions de gaz à effet de serre, en vue de répondre à la problématique de réchauffement climatique. A l'échelle nationale, des objectifs ont été fixés dans le cadre du plan Ecophyto (2008, puis 2018) visant à réduire de moitié l'utilisation des pesticides d'ici 2025 (Encadré 1). A l'échelle locale, les objectifs peuvent être fixés dans le cadre de démarches territoriales, par exemple améliorer la qualité de l'eau dans les aires d'alimentation de captage. A une échelle encore infra, les agriculteurs ont des objectifs spécifiques pour choisir les systèmes agricoles qu'ils mettent en œuvre (Salembier et al., 2016; Verret et al., 2020). **Les agriculteurs sont donc soumis à une diversité et à une multiplicité d'objectifs qui se superposent. Pour répondre à ces objectifs, une transformation profonde des systèmes agricoles est nécessaire.**

En effet, aujourd'hui, les systèmes agricoles sont peu diversifiés, et dépendent d'un fort usage d'intrants (engrais azotés et pesticides). Pour tenter de répondre aux multiples objectifs assignés à l'agriculture, diminuer les impacts environnementaux négatifs de la production agricole tout en préservant les ressources naturelles qui se raréfient, il est nécessaire de « produire autrement » (Meynard et Girardin, 1991). L'agroécologie propose un cadre pour concevoir et mettre en œuvre des pratiques permettant de satisfaire ces objectifs (Altieri, 2002; Wezel et al., 2020, 2014). Dès 2012, la France s'est engagée dans la transition agroécologique : le gouvernement a mis en place le *Projet Agroécologique pour la France* pour inciter les agriculteurs et leur environnement à transformer leurs pratiques. L'agroécologie prônée par Stéphane Le Foll, alors ministre chargé de l'Agriculture, associe « *respect de l'environnement d'une part et compétitivité économique, individuelle et collective d'autre part* » (Doré et Bellon, 2019). La définition de l'agroécologie portée par le gouvernement français se précise autour de la triple performance de l'agriculture (économique, environnementale et sociale). C'est une véritable transformation des systèmes agricoles qui est appelée via ces actions de politique publique. Pour atteindre ces objectifs, et mobiliser collectivement les acteurs à s'engager dans cette voie, des programmes d'action spécifiques ont été mis en œuvre pour soutenir la transformation des systèmes agricoles, et pour mettre en place des dispositifs d'accompagnement favorisant l'émergence de systèmes agricoles alternatifs. Par exemple, un des instruments développés dans le cadre du *Projet Agroécologique pour la France* est la mise en place et le soutien financier de groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE) pour favoriser collectivement le développement de systèmes agroécologiques. Un GIEE regroupe des agriculteurs d'une même zone géographique autour d'une thématique commune (choisie par le collectif) dans le cadre d'un projet pluriannuel. Le réseau de fermes de Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en pHYtosanitaires (DEPHY) est un autre exemple, qui a été mis en place dans le cadre du plan Ecophyto.

Le développement de pratiques contribuant à des systèmes agroécologiques n'est pas aisé. Pendant longtemps, les systèmes agricoles ont été raisonnés dans une logique « un problème, un intrant », visant à identifier le facteur limitant principal et à l'éliminer en apportant l'intrant adapté (ex. utiliser uniquement des herbicides pour détruire les adventices). Dans les dernières décennies, les systèmes agricoles se sont simplifiés (moindre diversité de cultures), et intensifiés (systèmes hautement dépendants des intrants exogènes). On a assisté à une déconnection entre élevage et culture, par le développement d'élevages intensifs. Le sol a progressivement été considéré comme un support de production, auquel il fallait apporter tout ce dont la culture aurait besoin pour croitre et produire un maximum de rendement. Cette logique s'est renforcée depuis l'après-guerre. Or, l'agroécologie exige de raisonner les systèmes agricoles autrement (Altieri et al., 2015) : stimuler les fonctions et les régulations biologiques, réduire la consommation de ressources non renouvelables et l'usage d'intrants externes, accroître le recyclage des éléments minéraux, favoriser l'activité biologique des sols, etc.

Favoriser la transition agroécologique, notamment la réduction de l'usage d'intrants de synthèse, suppose de modifier en profondeur les systèmes agricoles, par un processus dynamique de changement progressif de pratiques. **Des travaux montrent que le développement de systèmes qui reposent sur les principes de l'agroécologie est favorisé par la mise en place de processus de conception innovante** (Meynard et al., 2012). La nécessité de reconcevoir les systèmes agricoles avait été soulignée pour atteindre l'objectif de réduction de moitié de l'usage des pesticides : il ne suffit plus d'améliorer l'efficience d'une technique (E), ou de substituer une technique par une autre (S), il faut reconcevoir (R) le système (Hill et MacRae, 1996; Jacquet et al., 2011). D'un point de vue général, la conception consiste à créer un nouvel objet, adapté à une situation locale, et qui permettra de répondre aux objectifs ambitieux assignés dans la situation. La conception de systèmes, qui reposent sur les principes de l'agroécologique, s'appuie sur des apports de connaissances diverses, en nombre et en nature : des connaissances scientifiques, mais aussi des connaissances empiriques détenues par les praticiens (Doré et al., 2011). Les nombreux objectifs à atteindre et la variabilité des contextes pédo-climatiques et socio-économiques induisent une diversité des solutions possibles. L'immense panel de connaissances mobilisables dans ce but, et la difficulté à choisir celles qui, dans une situation donnée, seront le plus à même d'atteindre les objectifs visés, rendent chaque démarche de conception complexe à mettre en œuvre.

L'agroécologie exige un raisonnement des pratiques, radicalement différent de celui qui a prévalu depuis des décennies, ce qui constitue un vrai challenge, d'autant que les organisations de Recherche & Développement agricole, et de conseil, ont été structurées et gérées de manière à mettre au point, transférer et fournir aux agriculteurs des solutions techniques génériques adaptées à la gestion de chaque facteur limitant. Les pratiques d'agriculteurs innovants sont, depuis quelques années, objets d'intérêt et de recherche, dans le but de les analyser, produire des connaissances pour stimuler la conception chez d'autres agriculteurs (Salembier et al., 2018). C'est donc à un renouvellement total des raisonnements et des connaissances mobilisables que nous invite l'agroécologie, pour mettre au point des techniques en rupture (Caron et al., 2014). **Cette orientation interroge donc le régime de production et de circulation des connaissances nécessaires à ce changement de paradigme, et ses liens avec les dynamiques de reconception** (Compagnone et al., 2018a). De plus, de nombreux travaux mentionnent **l'intérêt d'échanges collectifs pour favoriser la transformation des pratiques agricoles** (Bakker et al., 2021; Goulet et al., 2008; Périnelle et al., 2021; Slimi et al., 2021). Dans ce cadre, l'usage du numérique se développe à grande vitesse, faisant fleurir les plateformes web de partage de connaissances, ouvertes à tous, pour échanger et mettre en visibilité des pratiques agroécologiques innovantes. Bien que cette perspective soit particulièrement intéressante pour contribuer à la transition agroécologique, elle pose encore de nombreuses questions.

Les acteurs de la R&D agricole capitalisent des connaissances sur les systèmes agroécologiques mis en œuvre, chez des agriculteurs ou en expérimentation : une infrastructure agroécologique, une pratique innovante, combinée à d'autres pratiques, un système de culture. Ils partagent ces connaissances à l'oral, et dans des plateformes en ligne pour les diffuser plus largement. **L'outil GECO (dispositif Ecophyto), basé sur le prototype AgroPeps développé par le Réseau Mixte Technologique Systèmes de Culture Innovants, propose un dispositif collectif et en ligne, de capitalisation des connaissances sur les systèmes agroécologiques, pour soutenir l'activité de conception des acteurs.** Le faible usage de l'outil pose question, en regard de son objectif et des ambitions de la France pour son *projet Agroécologique*, et conduit à s'interroger sur les conditions qui seraient nécessaires à son accroissement.

Dans cette thèse, nous allons ainsi nous intéresser à la formalisation et à la capitalisation des connaissances utiles pour la transformation des systèmes vers l'agroécologie. En particulier, nous étudierons les modalités d'un partage de connaissances sur les systèmes agroécologiques dans des ressources cognitives, construites et disponibles via une plateforme en ligne, ouverte à tous. Nous analyserons en particulier les conditions d'une production de ces ressources via une capitalisation collective des connaissances détenues par une diversité d'acteurs.

Encadré 1. Le Plan Ecophyto et ses évolutions

Suite à des rapports d'expertise sur les effets des pesticides sur la santé des utilisateurs et sur l'environnement (ex. Aubertot et al., 2005), et au Grenelle de l'Environnement de 2007, le gouvernement français a lancé en 2008 le plan Ecophyto de réduction des usages de pesticides. L'objectif du plan était de réduire en dix ans la consommation de pesticides de 50% (par rapport à 2008). Deux dispositifs ont été développés : un réseau d'épidémiosurveillance autour de la publication du bulletin de santé du végétal (BSV) et le réseau de fermes de Démonstration, Expérimentation et Production de références sur les systèmes économes en pHYtosanitaires (DEPHY). Le réseau DEPHY Expé est également mis en place en 2012.

Le rapport d'expertise Ecophyto R&D, lancé en 2007 et publié en 2010, préconise l'approche systémique pour transformer profondément les pratiques agricoles pour atteindre cet objectif de 50% de réduction de l'usage des pesticides (Butault et al., 2010). En effet les techniques d'efficience et de substitution ne suffisent pas pour atteindre l'objectif de réduction des 50%, il faut reconcevoir des systèmes (Jacquet et al., 2011) - ESR Efficience-Substitution-Reconception (Hill et MacRae, 1996).

Après une évaluation à mi-parcours et la stagnation des indicateurs choisis (rapport Potier 2014), une deuxième version du plan a été proposée en 2015 : le plan Ecophyto II[1], avec le même objectif de réduction à l'horizon 2025. Des propositions ont été effectuées pour le renforcement et la rénovation du plan Ecophyto (notamment dans le cadre du projet agroécologique pour la France). Les solutions de substitution comme les produits de biocontrôle, alternatives à l'usage des produits phytosanitaires, sont alors promues (sur la base du rapport Herth), elles n'avaient pas été retenues au démarrage du plan (Aulagnier et Goulet, 2017).

Dans ce plan, le réseau DEPHY est consolidé, élargi à 3000 fermes. A partir des premiers résultats obtenus dans le réseau DEPHY, le plan Ecophyto II vise à multiplier par 10 le nombre d'exploitations dans le réseau (création des « groupes 30 000 »): « *la diffusion des pratiques innovantes économes en produits phytopharmaceutiques reposera notamment sur l'accompagnement de 30 000 exploitations dans leur transition vers des systèmes agro-écologiques à faible dépendance en produits phytopharmaceutiques* » (MAAF et MEDDE, 2015).

Le plan Ecophyto II+ consolide le plan précédent pour développer une agriculture moins dépendante des pesticides (plan d'action publié le 25 Avril 2018), et vise à accompagner la sortie du glyphosate annoncée le 22 Juin 2018 en deux temps (pour les principaux usages d'ici fin 2020 et pour l'ensemble des usages d'ici 2025).

> *« Le Plan Écophyto II+ consolide certaines actions structurantes de la première période du Plan comme le réseau de fermes et d'expérimentation DEPHY, le dispositif de certificat individuel Certiphyto, les outils de diffusion d'information comme les bulletins de santé du végétal ou le portail de la protection intégrée (ÉcophytoPIC), ainsi que la sécurisation des utilisations »* [1]

[1] https://agriculture.gouv.fr/questionsreponses-sur-le-nouveau-plan-ecophyto-ii

Problématique de recherche

Cette première partie se décline en quatre sections pour introduire progressivement la problématique de recherche et le plan du document. Une première section s'intéresse à la conception de systèmes agricoles qui reposent sur les principes de l'agroécologie, et aux caractéristiques décrites dans la littérature en agronomie systémique (Section 1). Dans une seconde section, nous développons les travaux en ergonomie cognitive qui portent sur la compréhension des processus de conception (Section 2). Ces éléments vont nous permettre d'avoir un nouveau regard sur les processus de conception en agroécologie. Ensuite, nous présentons les connaissances mobilisées par les concepteurs de systèmes agricoles qui tendent vers l'agroécologie, et les outils de capitalisation et de partage des connaissances produits par les acteurs de la R&D agricole, pour décrire ces systèmes (Section 3). Enfin, nous présentons les méthodes employées par les ergonomes pour développés des outils, avec les utilisateurs potentiels (Section 4).

1. La conception de systèmes agroécologiques

Dans un premier temps, nous tâcherons de donner un aperçu des définitions de l'agroécologie (Section 1.1). Dans un second temps, nous identifions les caractéristiques des systèmes qui reposent sur les principes de l'agroécologie (Section 1.2). Enfin, nous présentons les travaux sur la conception innovante en agronomie pour repenser les systèmes agricoles, notamment les acteurs impliqués dans ces processus de conception et les méthodes qu'ils mobilisent (Section 1.3).

1.1. Les dimensions de l'agroécologie

1.1.1. L'évolution des définitions de l'agroécologie

Plusieurs auteurs ont contribué à définir l'agroécologie depuis plusieurs dizaines d'années (une liste non exhaustive est présentée dans cette section). Le caractère polysémique de l'agroécologie est souvent évoqué : les définitions intègrent à la fois différentes visions de l'agroécologie en tant que science, pratique et mouvement social (Wezel et al., 2009), ainsi que différentes échelles, celle de la pratique, de la parcelle, de l'agroécosystème et du système alimentaire.

L'agroécologie est souvent « considérée comme parapluie » hébergeant plusieurs formes d'agriculture (ou modes de production) : la permaculture, l'agriculture biologique, l'agriculture écologiquement intensive ou encore l'agriculture régénératrice (Bellon & Ollivier, 2011). Les termes qui se rapportent à l'agroécologie sont également associés à des techniques agricoles. Le dictionnaire d'agroécologie[2] propose d'éclairer les termes associés à l'agroécologie en offrant des définitions évolutives et co-écrites par des enseignants, des scientifiques et des étudiants (deux écoles d'ingénieurs à Toulouse). Un autre exemple est le thésaurus réalisé par l'INRAE[3] qui présente 556 concepts reliés à l'agroécologie. Cette richesse montre la diversité des acceptions de l'agroécologie, et l'absence de spécification précise (contrairement, par exemple, au cahier des charges précis de l'agriculture biologique).

[2] https://dicoagroecologie.fr/

[3] https://opendata.inra.fr/ThesAE/page/Thesaurus_Agroecologie

Les années 1980 précisent les fondements de l'agroécologie, en se positionnant clairement en rupture face à la modernisation agricole. Miguel Altieri, un des auteurs parmi les plus connus, publie un ouvrage de référence en 1986 en français intitulé « Agroécologie, bases scientifiques d'une agriculture alternative ». Il propose dans cet ouvrage de définir l'agroécologie de la manière suivante : « *un ensemble de méthodes et de pratiques, socle d'une révision des liens entre agriculture et écosystèmes dont le but est de garantir la préservation des ressources naturelles* ». Dans les années 1990, l'agroécologie est redéfinie autour de la **notion d'agroécosystème et des principes agroécologiques** : « *l'application des concepts et principes de l'écologie à la conception et à la gestion d'agroécosystèmes durables* » (Gliessman, 1995). Au début des années 2000, Francis et al. (2003) proposent d'élargir le cadre de l'agroécologie au système alimentaire (*food systems*), c'est-à-dire aux étapes, non seulement de la production, mais aussi de la transformation, de la commercialisation et de la consommation.

Certains auteurs insistent sur d'autres aspects de l'agroécologie. Ainsi, Gliessman (2018) met en avant les caractéristiques de l'agroécologie à l'échelle du système alimentaire : transdisciplinaire, participative et basée sur l'action.

> *« Agroecology is the integration of research, education, action and change that brings sustainability to all parts of the food system: ecological, economic, and social. It's transdisciplinary in that it values all forms of knowledge and experience in food system change. It's participatory in that it requires the involvement of all stakeholders from the farm to the table and everyone in between. And it is action-oriented because it confronts the economic and political power structures of the current industrial food system with alternative social structures and policy action. » (Gliessman, 2018)*

De même, Meynard (2017) insiste sur le fait que l'agroécologie nous conduit à explorer de nouveaux champs de savoirs, sur les impacts agronomiques des régulations biologiques autant que sur les systèmes socioécologiques, mais également à transformer nos manières de travailler : « *développer les approches systémiques, (…) ; revaloriser les savoirs locaux et les mettre en synergie avec les savoirs scientifiques ; décloisonner l'innovation, en repositionnant l'agriculture au sein des territoires et des systèmes alimentaires ; enfin, favoriser les dynamiques d'apprentissage individuel et collectif, source d'innovation et d'adaptation aux situations locales*. »

Ces différentes propositions renforcent l'intérêt de développer des démarches collectives, pour favoriser la conception et la gestion d'agroécosystèmes adaptés aux situations locales, en associant une diversité d'acteurs, aussi bien des scientifiques de disciplines différentes que des praticiens (Doré et al., 2011; Warner, 2008). De tels dispositifs permettent aux acteurs impliqués d'échanger des connaissances et des expériences, en élargissant le champ des connaissances mobilisables et utiles à l'agroécologie. De plus, les agriculteurs et les expérimentateurs qui mettent en œuvre des agroécosystèmes s'adaptent constamment aux conditions pédoclimatiques et socioéconomiques en forte évolution (ex. pour faire face à des perturbations récurrentes, une sécheresse peut se produire plusieurs années de suite). **L'agroécosystème évolue ainsi dans sa mise en action, il n'est pas figé**.

1.1.2. Les pratiques qualifiées d'agroécologiques et l'évaluation de ces pratiques

Certains auteurs caractérisent l'agroécologie par un ensemble de pratiques (Wezel et al., 2009). Les pratiques qualifiées d'agroécologiques sont définies comme répondant à un ou plusieurs des cinq principes agroécologiques, initialement proposés par Altieri (1995)[4] :

- « Accroître l'accumulation de matière organique et le recyclage des éléments minéraux ;
- Favoriser l'activité biologique des sols ;
- Favoriser les mécanismes de régulation naturelle des populations d'adventices, d'insectes et d'agents pathogènes ;
- Minimiser les pertes de ressources (sols, eau, ressources génétiques) ;
- Augmenter la biodiversité dans les agroécosystèmes, et les synergies entre leurs composantes ». (Doré et Bellon, 2019a)

Ces cinq principes agroécologiques ont depuis été adaptés. Par exemple, OSAÉ, la plateforme d'échanges pour la mise en pratique de l'agroécologie, met au centre la notion de résilience du système en la reliant à plusieurs principes agroécologiques, reprenant largement ceux proposés par Altieri (Figure 1). La résilience, un concept issu de l'écologie, décrit la capacité d'un agroécosystème à s'adapter aux perturbations ou à revenir à un état stable après perturbation (Allen et al., 2019; Martin and Magne, 2015). Pour augmenter la diversité génétique cultivée, de nombreuses solutions techniques sont proposées sur la plateforme, telles que le recours aux semences issues d'une sélection participative et le mélange de variétés. Plus largement, les pratiques dites agroécologiques sont celles qui valorisent les processus écologiques et les fonctions biologiques naturels. Ainsi, par exemple, associer un colza avec des légumineuses gélives permet de réduire l'usage des intrants pesticides et azotés (Lorin et al., 2016), en favorisant la compétition vis-à-vis des mauvaises herbes et en apportant de l'azote à la culture, par le biais des légumineuses qui, détruites par le gel pendant l'hiver, se minéralisent et restituent au colza, pendant le printemps, une partie de l'azote qu'elles ont stocké. Cette association favorise également la perturbation visuelle des insectes d'automne du colza, réduisant ainsi l'usage d'insecticides d'automne (résultats d'essais de la plateforme Syppre du Berry coordonnée par Terres Inovia[5])

[4] Ouvrage en anglais « Agroecology : the science of sustainable agriculture », la formulation des principes agroécologiques proposée ici est issue du livre « Les mondes de l'agroécologie » (Doré et Bellon, 2019)

[5] https://www.terresinovia.fr/-/syppre-berry-une-campagne-2019-2020-sur-la-route-du-succes

Figure 1. Les principes d'OSAÉ

Cependant, « *l'agroécologie n'est normée ni dans ses pratiques, ni dans ses objectifs* » (Doré and Bellon, 2019a). C'est pourquoi les critères d'évaluation des pratiques et systèmes agroécologiques ne sont pas standardisés, et peuvent concerner, selon les études, la performance énergétique, la lutte contre l'érosion, l'amélioration de la fertilité des sols, la diminution de l'usage des pesticides ou des engrais azotés de synthèse. Les critères mobilisés pour choisir les pratiques mises en œuvre varient selon les agriculteurs (Salembier et Meynard, 2013). Il n'est donc guère possible de caractériser de manière univoque des pratiques comme étant agroécologiques. En effet, les agriculteurs engagés dans l'agriculture de conservation des sols choisissent la réduction des techniques de travail du sol, associée à une diversité d'espèces cultivées et la restitution au sol de résidus issus de couverts végétaux cultivés fréquemment (Scopel et al., 2013), dans le but d'améliorer la qualité des sols, de lutter contre l'érosion et d'accroître le stockage de carbone dans le sol (De Tourdonnet et al., 2013). Cependant, l'usage d'herbicides est généralement plus fréquent dans ces systèmes pour maîtriser les adventices qui se développent (Ballot et al., 2019; Reboud et al., 2017). Au contraire, les agriculteurs en agriculture biologique choisissent généralement de réaliser des labours pour contrôler les mauvaises herbes, en absence d'herbicide (le labour permettant d'enfouir les graines d'adventices, pour empêcher leur germination), mais cette technique peut perturber la vie du sol (De Oliveira et al., 2012), et les réseaux mycorhiziens (Chave et al., 2019).

Ainsi, alors que certains auteurs identifient des « pratiques agroécologiques » (Wezel et al. (2014), d'autres auteurs insistent sur le fait qu'une pratique n'est pas intrinsèquement agroécologique, elle le devient par son insertion dans un système, respectant de manière cohérente les principes mentionnés précédemment (Meynard et Jeuffroy, 2021). Une technique n'est jamais isolée de son contexte, et ses effets dépendent de la manière dont elle est mise en œuvre et des nombreuses interactions qu'elle a avec les autres techniques appliquées et avec l'environnement. En effet, une même technique peut être déclinée de différentes manières, implantée dans des contextes divers. Par exemple, les effets rendus[6] par le colza associé à des légumineuses gélives varient selon les situations, et les modalités de mise en œuvre (nature et densité des espèces associées, Lorin et al., 2016).

[6] On parle également de services écosystémiques, concept emprunté à l'écologie.

1.2. Les caractéristiques des systèmes agroécologiques

1.2.1. La cohérence des pratiques agricoles, centrale en agroécologie

Dans la thèse, nous nous intéressons à plusieurs objets agricoles : la technique élémentaire, la combinaison cohérente de plusieurs techniques, l'itinéraire technique, et enfin le système de culture (SDC). Les principes agroécologiques peuvent en effet être atteints via la mobilisation de ces différents objets, mobilisant des processus à différentes échelles temporelles et spatiales. Une technique élémentaire est une intervention dont les caractéristiques sont génériques (ex. la fertilisation, la date de semis). Le système de culture (*cropping system*) et l'itinéraire technique (*cropping management*), permettent de caractériser la gestion d'une parcelle agricole respectivement à l'échelle pluriannuelle et à l'échelle du cycle de production :

- Le système de culture est défini comme « *l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière identique. Chaque système se définit par : la nature des cultures et leur ordre de succession, les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés retenues.* » (Sebillotte, 1990) ;
- L'itinéraire technique est « *une combinaison logique et ordonnée de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée* » (Sebillotte, 1974)

La mise en place d'une technique à un moment donné dans le temps dépend de l'intervention d'un pilote (ex. agriculteur, expérimentateur), qui adapte la technique agricole à l'environnement local et aux objectifs souhaités. **La pratique est la mise en action de cette technique par le pilote**. « *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* » (Landais et al., 1988). Prenons l'exemple d'une technique élémentaire, l'insertion d'une culture intermédiaire courte dans la rotation, l'agriculteur va choisir une espèce ou un mélange d'espèces approprié au contexte local et va adapter la date de semis et la densité de semis de chaque espèce à ses objectifs (ex. couvrir le sol en choisissant des espèces avec un port couvrant et une forte vitesse de démarrage, ou fournir de l'azote au système, en choisissant des légumineuses) et contraintes (ex. le type de semoir dont il dispose, le climat le plus probable pendant la période de croissance des espèces choisies).

Ainsi, les effets d'une pratique ne sont pas indépendants des autres pratiques du système dans lequel elle est insérée : les effets indirects des techniques, et les interactions entre elles, sont perceptibles à l'échelle du système de culture. En effet, « *une technique joue à la fois sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du milieu, et symétriquement chacune de ses caractéristiques est influencée (contrôlable) par plusieurs techniques* » (Meynard et al., 2001)

1.2.2. Des systèmes agroécologiques qui reposent sur une logique systémique et située

L'agronomie système étudie les relations complexes entre les composantes d'un agroécosystème (concept issu de l'écosystème étudié en écologie), une parcelle, une portion de parcelle ou un ensemble de parcelles, en s'intéressant à « *la logique systémique qui existe entre les actes techniques qui sont mis en œuvre successivement dans un agroécosystème* » (Meynard et al., 2001). Cette **logique systémique** est essentielle dans les systèmes agroécologiques car la mobilisation des fonctions biologiques et écologiques, au cœur de ces systèmes, est étroitement dépendante des interactions entre les pratiques et leur environnement. La logique systémique peut être représentée à travers les liens qui existent entre 6 composantes : l'agroécosystème, les pratiques adoptées par le pilote du système, les

décisions du pilote (qui déterminent les pratiques et sont influencées par l'état de l'agroécosystème et les autres pratiques mises en œuvre), les ressources de l'exploitation et du territoire (qui déterminent ces décisions), les performances obtenues de cet agroécosystème, et les critères de performance du pilote (qui influencent ses décisions) (Figure 2). Les déterminants qui expliquent les décisions du pilote sont nombreux (Moronval and Benoit, 2018), comme par exemple des déterminants socio-économiques externes (ex. aspects règlementaires, marchés) ou propres au pilote (gestion de la prise de risque de l'agriculteur, etc.).

Les objectifs assignés et les critères de performances (associés à ces objectifs), sont généralement économiques, mais aussi environnementaux et sociaux, ces deux domaines ayant pris de l'importance dans le cadre de l'agroécologie par rapport au régime dominant précédent de l'agriculture « industrielle ».

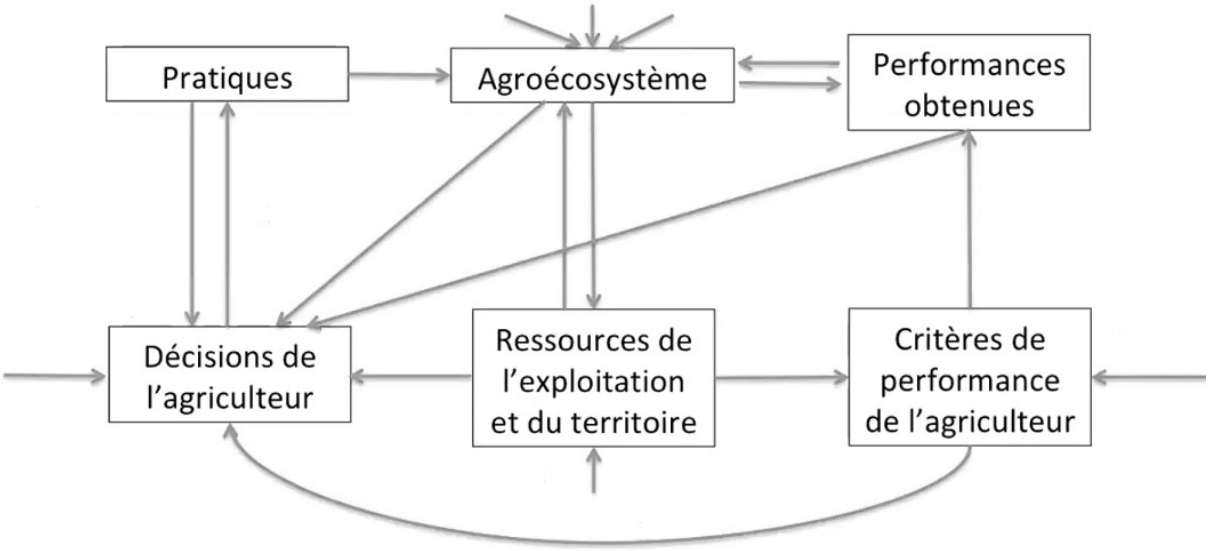


Figure 2. Représentation de l'approche système
(J-M. Meynard, présentation Académie Agriculture de France, 16 Février 2021).

Le pilote d'un système prend des décisions combinant différents niveaux, **opérationnel, tactique et stratégique** (Toffolini et al., 2016a). Ces niveaux sont relatifs à l'échelle de temps à prendre en compte : l'opérationnel sur un temps court pour adapter une technique à un instant donné, le tactique à l'échelle de la campagne culturale, et le stratégique à l'échelle pluriannuelle. Par exemple, si le pilote souhaite réduire l'usage d'intrants azotés de synthèse en insérant une succession légumineuse-céréales dans le système (stratégique), l'espèce de légumineuse sélectionnée doit être adaptée aux conditions pédoclimatiques (macroclimat à l'échelle d'une petite région agricole, somme de degrés jour adaptée, sensibilité au gel et au stress hydrique, etc.). Le pilote du système adapte également ses pratiques aux conditions locales à l'échelle de la campagne culturale et de l'itinéraire technique (ex. conditions pédoclimatiques). Par exemple, pour limiter la croissance des adventices en interculture en introduisant un couvert compétitif, son couvert sera réussi si les conditions pédoclimatiques permettent le développement rapide du couvert à la fin de l'été. Si cette période est fréquemment sèche, l'implantation du couvert sera meilleure si le semis du couvert est effectué avant la récolte de la culture précédente (insertion en relais, Amossé et al., 2013), plutôt que après la récolte. L'état du milieu, notamment lié aux autres techniques mises en œuvre auparavant dans le système, influence également l'efficacité de la technique. Et réciproquement, l'insertion de cette technique va modifier l'état ultérieur du milieu.

L'agroécosystème est ainsi influencé par les interactions entre les pratiques agricoles, dont la combinaison est raisonnée par le pilote pour atteindre les objectifs qu'il souhaite atteindre. Par exemple, pour détruire les adventices en période d'interculture, certains agriculteurs combinent plusieurs faux-semis à un semis retardé de la céréale suivante (pour laisser le temps de lever les adventices grâce aux faux-semis). Pour choisir les combinaisons de pratiques à mettre en œuvre, le pilote anticipe au maximum leurs effets directs, indirects, synergiques ou antagonistes sur les fonctions biologiques visées, pour atteindre les objectifs souhaités (Meynard, 2017), dans un cadre de contraintes. Pour poursuivre l'exemple de la maîtrise des adventices en période d'interculture, deux grandes stratégies techniques peuvent être envisagées pour limiter l'usage d'herbicide : le faux-semis pour stimuler l'émergence et détruire les adventices, ou l'insertion d'un couvert pour étouffer les adventices et limiter leur croissance, ces deux techniques étant incompatibles. Le pilote du système évalue le bien-fondé de ses pratiques par des indicateurs qu'il choisit spécifiquement (Toffolini et al., 2016) : par exemple, la repousse des adventices après le faux-semis, le degré de couverture du couvert.

1.2.3. Les processus naturels valorisés par les systèmes agroécologiques sont instables

L'agroécologie vise à favoriser les processus écologiques et biologiques, en substitution aux intrants. Ceux-ci peuvent être raisonnés à différentes échelles : la parcelle agricole, ses bordures, les parcelles alentours, voire même le territoire. Pour promouvoir et valoriser les régulations biologiques, on ne cherche pas à « artificialiser » le milieu, comme c'est le cas dans les systèmes productifs basés sur l'utilisation d'intrants, mais à valoriser les conditions environnementales locales. On sort de la logique « un problème, un intrant » qui vise à modifier une seule technique pour résoudre un facteur limitant du rendement, par exemple utiliser uniquement des herbicides pour détruire les adventices. Or, les processus biologiques et écologiques sont extrêmement variables en fonction des conditions locales, du climat, et des interventions de l'agriculteur pour piloter son système. De plus, l'agroécologie repose sur l'activité d'entités vivantes (ex. les auxiliaires des cultures), caractérisées par **une forte instabilité** (De Tourdonnet and Brives, 2018; L. Prost et al., 2017). La forte sensibilité de ces processus au contexte dans lequel ils se déroulent questionne l'extrapolation des résultats obtenus, et pose des difficultés pour définir leur domaine de validité.

1.2.4. Des systèmes agroécologiques conçus par les agriculteurs

Pendant longtemps, l'innovation en agriculture a été gérée par un **modèle diffusionniste et linéaire** : les connaissances étaient produites par des scientifiques, transmises à des organismes de R&D qui les transformaient en connaissances opérationnelles, innovations standardisées diffusées vers les agriculteurs pour favoriser leur application. « *It encourages a more uniform pattern of farming* » (Stuiver et al., 2003). Or, l'agroécologie, du fait de son caractère situé et du manque de connaissances scientifiques disponibles sur les objets spécifiques de ce mode de gestion des agroécosystèmes, met en cause ce modèle. L'agroécologie favorise un « modèle tourbillonnaire » où le développement des innovations résulte au contraire de l'implication d'une diversité d'acteurs agricoles, et où les connaissances produites par les praticiens ont une valeur aussi importante que celles produites par les scientifiques (Akrich et al., 1988a). Les agriculteurs ne sont plus considérés comme récepteurs et applicateurs des technologies, ils innovent par eux-mêmes et produisent, de manière individuelle et collective, des pratiques innovantes (Goulet et al., 2008; Salembier et al., 2018). Les systèmes agroécologiques mis en œuvre par des agriculteurs pionniers peuvent servir d'inspiration pour d'autres : les connaissances produites par leur analyse (Salembier et al., 2019) permettent d'interpréter les résultats obtenus, en identifiant et explicitant les processus écologiques et biologiques en cause, par la réalisation d'un diagnostic agronomique stratégique décrit par Cerf et al. (2019).

Ainsi, les agriculteurs sont les principaux concepteurs de leurs propres systèmes, valorisent et s'adaptent aux conditions locales (Leclère et al., 2018; Martin et al., 2013; Périnelle et al., 2021). Pour les accompagner, les conseillers ont développé de nouvelles compétences (Cerf et al., 2012b; Mischler et al., 2008) et les agronomes, plus largement, modifient leurs activités : des chercheurs agronomes ne cherchent plus seulement à produire des connaissances, mais à repérer, capitaliser des connaissances produites par les acteurs de terrain.

Conclusion des sections 1.1. et 1.2.

Dans la section sur ***les dimensions de l'agroécologie***, nous retiendrons :

- L'agroécologie vise à valorisation des processus écologiques pour réduire l'utilisation d'intrants de synthèse et préserver les ressources naturelles. Les objectifs des acteurs engagés dans la transition agroécologique sont complexes, inhérents à une situation locale, et résultent d'une combinaison entre des règlementations issues de politiques publiques et les orientations souhaitées par les agriculteurs.
- Une pratique contribuant à un système agroécologique permet, combinées à d'autres, de valoriser les processus écologiques dans un environnement précis. Nous utiliserons le terme de **système agroécologique** dans ce manuscrit, pour évoquer soit une pratique, une combinaison de pratiques ou un système de culture, répondant aux principes de l'agroécologie.

Dans la section sur ***les caractéristiques des systèmes agroécologiques,*** nous retiendrons :

- La **logique systémique** est essentielle dans les systèmes agroécologiques car la mobilisation des fonctions biologiques et écologiques, au cœur de ces systèmes, est étroitement dépendante des interactions entre les pratiques et leur environnement.
- Les processus biologiques et écologiques sont extrêmement variables en fonction des conditions locales, du climat, et des interventions de l'agriculteur pour piloter son système.
- L'agroécologie favorise un **« modèle tourbillonnaire »** où le développement des innovations résulte de l'implication d'une diversité d'acteurs agricoles, dont les agriculteurs.

Ainsi, le développement de systèmes agroécologique adaptés à une situation locale n'est pas aisé, et suppose de modifier en profondeur les systèmes agricoles collectivement.

1.3. La conception de systèmes agroécologiques

> *« Pour chaque parcelle, à partir de ses caractéristiques et du fonctionnement général de son exploitation, l'agriculteur se fixe des objectifs de rendement qui ne sont pas obligatoirement les rendements maximums, recense (accepte ou impose) diverses contraintes quant à ses dates de semis et de récolte, à la possibilité de respecter un stade pour l'application d'une technique ou quant à la surveillance de la culture » (Sebillotte 1990).*

Cette définition de Sebillotte de la « construction » de systèmes de culture illustre deux aspects. Le premier évoque le caractère situé de l'objet à concevoir, adapté aux caractéristiques de la parcelle. Le deuxième aspect concerne la formulation d'un objectif de conception (relatif au rendement, dans la citation précédente), parfois appelé « inconnu désirable » (Le Masson et al., 2014). La manière d'atteindre cet objectif est affinée par l'identification progressive de spécifications (ici, la construction de l'itinéraire technique pour atteindre un rendement visé). Avec l'essor de l'agroécologie, et la volonté de produire autrement en diminuant les impacts environnementaux, les objectifs assignés à l'agriculture se sont complexifiés. La combinaison d'objectifs complexes, et de conditions spécifiques localement, conduit à imaginer des systèmes agroécologiques nouveaux qui n'existent pas aujourd'hui, dont les propriétés ne peuvent être clairement définies au démarrage de la conception.

De nombreuses méthodes ont été développées (et testées) pour soutenir la conception collective de systèmes de culture agroécologiques et les diverses activités sous-jacentes, allant de la reformulation de la cible de conception à l'évaluation de l'objet agronomique conçu. Le Gal et al. (2011) distinguent d'une part les méthodes pour concevoir des innovations (*design-oriented methods*), impliquant souvent des chercheurs, et d'autre part les méthodes pour soutenir les agriculteurs dans la conception des systèmes localisés (*design-support oriented methods*), impliquant les conseillers accompagnant ces agriculteurs.

1.3.1. Les caractéristiques de la conception de systèmes agroécologiques

1.3.1.1. La conception innovante de systèmes agroécologiques

Un premier élément pour caractériser la conception de systèmes de culture agroécologiques est son caractère innovant. Les travaux en science de gestion ont défini deux régimes de conception : la conception réglée (*rule-based design*) et la conception innovante (*innovative design*) (Le Masson et al., 2014; Le Masson and Weil, 2010). La conception se distingue de la décision dans la mesure où l'objectif n'est pas de sélectionner une solution parmi des alternatives possibles déjà existantes, mais d'élaborer une solution qui n'existait pas au démarrage du processus (Hatchuel, 2001; Hatchuel and Weil, 2002). **Les démarches de conception réglée** sont mises en place lorsque la solution à développer provient de l'application d'un système de règles qui *« assure aux concepteurs qu'ils pourront concevoir une variété d'objets d'un certain type (associée à un « modèle objet ») sans se lancer dans de coûteuses et incertaines explorations* », dans une logique de *problem solving* (Le Masson and Weil, 2010). C'est le cas, par exemple, de la sélection variétale, encore largement mise en œuvre dans une logique de conception réglée (Prost et al., 2017). Les objectifs de conception et les critères d'évaluation sont alors clairement définis à l'avance. Or les nouveaux objectifs assignés à l'agriculture ne peuvent plus être résolus, ni pas une simple décision, car les systèmes agroécologiques adaptés localement sont véritablement à inventer, ni uniquement par des processus de conception réglée, principalement mobilisés dans le paradigme actuel de l'agriculture « intensive ». On ne sait pas, a priori, comment (c'est-à-dire en mobilisant quelles combinaisons de techniques) atteindre les objectifs fixés, désirables. Il apparaît nécessaire de mettre en œuvre une démarche de **conception innovante** pour caractériser ces systèmes désirables (Meynard et Dourmad, 2014), comme cela a déjà

été initié pour concevoir des systèmes de culture innovants à expérimenter (Colnenne-David and Doré, 2015; Petit et al., 2012).

La conception pas-à-pas et la conception de novo sont deux modes de conception innovante proposés en agronomie (Meynard, 2008; Meynard et al., 2012), caractérisés par des prises de risques et des degrés d'exploration différents. La conception de novo correspond à l'élaboration d'un système en rupture à partir de zéro, la prise de risque est élevée, à partir d'une très large exploration. Une méthode souvent employée pour mettre en œuvre une démarche de conception de novo est la mobilisation de modèles, dans le but d'explorer et évaluer de larges gammes de solutions (Bergez et al., 2010; Tixier et al., 2008). La conception pas-à-pas consiste, au contraire, en « *une évolution progressive d'un système existant* », la prise de risque est modérée (Meynard et al., 2019; Meynard and Dourmad, 2014). Même si la conception de novo couvre généralement une plus large exploration, la conception pas-à-pas inclut également cette étape, indispensable pour atteindre des performances ambitieuses, renouvelées et en rupture par rapport au système initial.

L'activité de conception pas-à-pas débute par un diagnostic des problèmes à résoudre dans le système ou des éléments à modifier pour atteindre des performances différentes de celles obtenues jusqu'alors (Figure 3). Elle se poursuit par des étapes de co-construction de systèmes de culture sur la base du diagnostic initial, c'est-à-dire l'explicitation des objectifs assignés au système et l'invention du système pour pouvoir répondre à ces objectifs. Des évaluations a priori des systèmes conçus peuvent être réalisées. Le système conçu est mis en œuvre, en parcelle d'agriculteur ou en station expérimentale. L'analyse des résultats a postériori permet d'entamer un nouveau cycle de co-conception. Ainsi, des boucles d'apprentissage permettent d'améliorer progressivement le système selon les objectifs souhaités, qui évoluent eux-mêmes au cours du temps, sous l'influence des résultats obtenus par l'évaluation des options mises en œuvre. Cette démarche de conception pas-à-pas a été, par exemple, menée auprès de huit exploitations en systèmes céréaliers en Picardie autour de la conduite intégrée du blé d'hiver et la gestion des adventices (Mischler et al., 2009), et en production fruitière (Plénet and Simon, 2015). Pour mettre en place des processus de conception pas-à-pas, les acteurs mobilisent différentes méthodes et dispositifs, qui soutiennent une ou plusieurs des étapes décrites (ex. les ateliers de conception pour co-concevoir des nouveaux SDC).

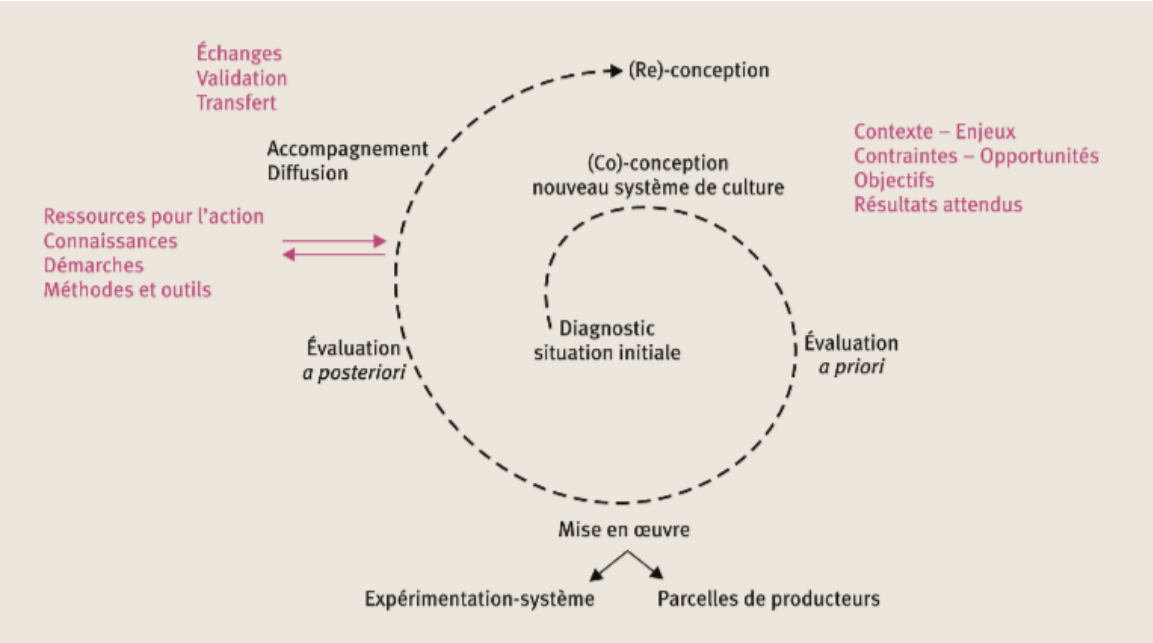


Figure 3. Les étapes de la conception pas-à-pas (Plénet and Simon, 2015)

1.3.1.2. La conception de systèmes de culture agroécologiques bénéficie d'une approche collective

De nombreux acteurs s'organisent autour du développement de l'agroécologie. Des cartographies ont été réalisées pour représenter les acteurs associés à l'agroécologie et les interactions entre ces acteurs, à partir d'une analyse des sites internet traitant d'agroécologie (Bellon and Ollivier, 2018). Deux cartes ont été réalisées, avant et après l'institutionnalisation de l'agroécologie dans le cadre du plan « Produire autrement » (Figure 4 en 2018). La séparation entre les acteurs en 2018 est moins visible qu'en 2011, on distingue néanmoins deux groupes en opposition : les acteurs associatifs (ex. les sites Terre et Humanismes et Les Colibris, en rouge) dissociés de la grappe centrale, regroupant les acteurs institutionnels et de recherche (ex. le Ministère en charge de l'Agriculture, l'INRA et les organisations professionnelles, en bleu). On observe également de nombreux sous-groupes, tels que les Organismes Nationaux à Vocation Agricole et Rurale (ONVAR) comme Terres de Liens et Semences paysannes en jaune), les acteurs internationaux (ex. FAO, CIRAD, ADF en violet), ou reliés à des références techniques (ex. Agence Bio, agriculture de conservation des sols, l'agroforesterie).

Parmi ces acteurs, certains sont engagés dans des démarches de conception de systèmes agroécologiques, en particulier les agriculteurs (ex. les organismes de collecte, les collectivités locales, les organismes de développement agricoles, les chercheurs etc.). La conception de systèmes agroécologiques est alors qualifiée de collective, et bénéficie des échanges entre des acteurs agricoles distribués dans les organisations (une remise en cause de l'organisation des acteurs très descendante).

> *« We argue that the highly collective and distributed design processes in agriculture revive the interdependence between reasoning and organization, especially nowadays, as the challenges of sustainability have led new actors to become involved in steering the future trajectory of agriculture » (Prost et al., 2016)*

Une dynamique forte a été impulsée et mise en place par le RMT Systèmes de culture innovants, autour du développement d'une méthode pour soutenir la conception collective par une exploration d'idées : les **ateliers de conception** (Reau et al., 2012). Cette exploration est favorisée par l'animateur de l'atelier qui guide les échanges entre les participants (ex. exploration d'idées en rupture), et qui anime un dialogue entre des concepts et des connaissances détenues par les participants. Les ateliers de conception sont des dispositifs d'échanges structurés entre acteurs visant à imaginer, inventer un nouvel objet agronomique pour répondre à une cible de conception, et anticiper la mise en œuvre dans un environnement précis (la partie exploration de la conception). Une analyse comparative de 12 cas a été effectuée pour en détacher des recommandations générales sur les étapes de préparation et de mise en œuvre d'ateliers de conception (Jeuffroy et al., en cours). Des guides sont développés pour faciliter l'organisation d'ateliers et soutenir l'exploration d'idées nouvelles (E. Berthet et al., 2018; Lefeuvre et al., 2021). C'est le cas du guide réalisé par le Réseau Mixte Technologique Systèmes de Culture Innovants (RMT SDCI) qui décrit les différentes étapes et sous étapes d'un atelier de conception : l'analyse du « défi à relever », le partage de connaissances, la construction de l'objet, et son évaluation lors de l'atelier, à dire d'expert ou via des outils de simulation (Figure 5).

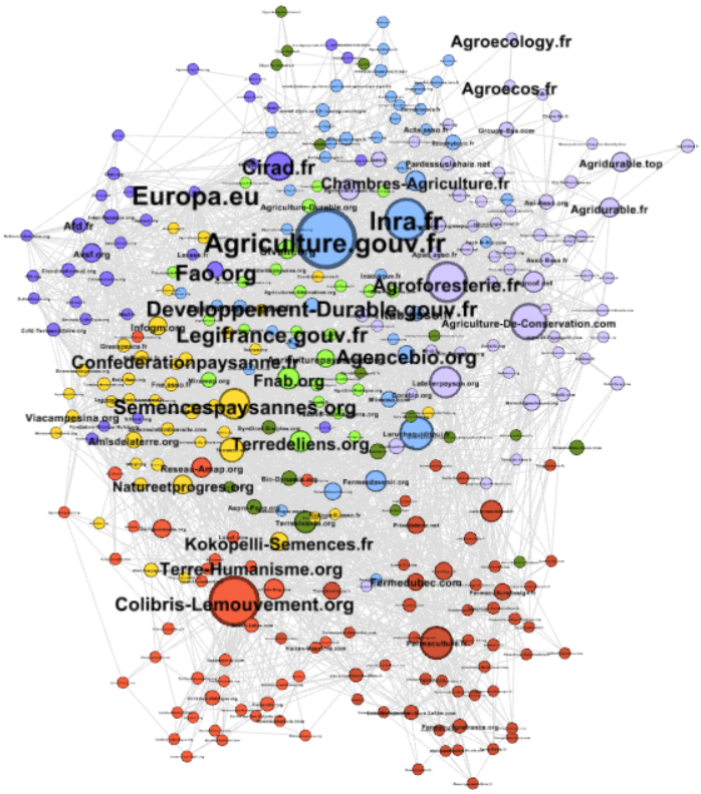


Figure 4. Les acteurs associés à l'agroécologie en Février 2018 (Bellon et Ollivier, 2018)

Figure 5. Etapes préconisées pour la réalisation d'un atelier de conception (Reau et al., 2018)

D**es plateaux de jeux** sont parfois mobilisés pendant les ateliers de conception, en tant que supports pour animer la conception collective. Par exemple, l'outil Mission Ecophyt'Eau permet aux concepteurs de visualiser le système économe en pesticide en cours de construction, ce qui favorise le partage de différentes représentations de cet objet (de Marguerye et al., 2018). Le Rami Fourrager offre à la fois un support pour visualiser la conception d'un système d'élevage basé sur une alimentation fourragère, et permet son évaluation en direct d'un atelier avec un logiciel de simulation (Martin, 2015).

Les ateliers de conception, mis en place pour générer des SDC sont souvent réalisés avec des agriculteurs. Ils peuvent également réunir des acteurs d'un territoire, autour d'un objectif de conception, pour considérer l'ensemble des visions des acteurs concernés (visions parfois antagonistes). Par exemple, une étude a été réalisée à l'échelle d'un territoire en Bourgogne visant à réinsérer des légumineuses, en mobilisant l'outil Co-click 'Eau pour tester avec les acteurs du territoires différents scénarios de réinsertion (Pelzer et al., 2020). Une autre étude a été effectuée sur la plaine céréalière de Niort, pour développer la filière courte de luzerne une solution envisagée par des écologues pour faire face au déclin de la population d'outardes, en mettant en place des ateliers KCP[7] pour favoriser la créativité (Berthet, 2014; Berthet et al., 2016). Les participants à ces ateliers KCP ont travaillé à partir de concepts projecteurs : la luzerne « haut de gamme », la luzerne « qu'on aime cultiver », la luzerne « qui nous distingue » et la luzerne « front de recherche » (Berthet, 2014). L'utilisation de concept projecteur a également été mobilisée pour organiser des ateliers sur la gestion du chardon en agriculture biologique (Salembier 2019).

Des démarches basées sur les jeux de rôles ont également été proposées et mises en place en atelier, par exemple sur la gestion agroécologique des bioagresseurs telluriques (Boulestreau et al., 2019) ou la conception et l'organisation des SDC au sein d'un bassin versant en Martinique en réduisant l'usage des herbicides (Della Rossa, 2020). Les jeux de rôles permettent le partage des points de vue entre des acteurs lors de temps d'échanges (Souchère et al., 2010), pour mieux comprendre les intérêts de chacun vis-à-vis du problème à résoudre.

1.1.1.1. La conception de systèmes agroécologiques se poursuit dans l'action

Nous avons vu précédemment que les systèmes agroécologiques étaient localement adaptés, pour valoriser les ressources locales et s'adapter aux contextes dans lesquels ils se développent. Ainsi, le processus de conception sous-jacent à leur émergence a un caractère situé, issu de l'interaction entre la situation de conception et l'activité des concepteurs. Dans ce cadre, la confrontation entre l'objet en cours d'émergence et les caractéristiques de la situation d'action permettent de poursuivre la caractérisation des propriétés de l'objet en cours de conception. Ainsi, selon Schön (1992), la conception s'enrichit d'une « *conversation réflexive avec la situation* », c'est-à-dire que **la conception évolue dans et par l'action**. Le concepteur interagit avec la situation, par des mouvements du type « voir-transformer-voir » : le concepteur interprète la situation, dans laquelle le système « en évolution » est expérimenté (et mobilise ainsi des savoirs liés à l'action), ce qui déclenche des évolutions qu'il ne pouvait pas imaginer avant, et qui l'amène à transformer la situation. « *Ces actes de transformation et de réinterprétation engendrent des découvertes inattendues. Cette approche est*

[7] Les ateliers KCP *Knowledge Concepts Proposals* sont basés sur la théorie *Concept Knowledge* (Hatchuel and Weil, 2009). Les différentes étapes de ces ateliers sont : le partage de connaissances, le développement de concepts projecteurs et la proposition d'une stratégie de conception innovante (ex. l'élaboration de projet). Cette méthode à été déployée pour plusieurs thématiques, comme par exemple la gestion collective à la ferme de mélanges variétaux de blé tendre (Berthet et al., 2020)

résolument constructiviste : les savoirs et la situation se co-construisent et s'influencent mutuellement.» (Safin 2011).

Lors de l'étape de mise en œuvre du système agricole, incluse dans la démarche de conception pas-à-pas, la conception du système se poursuit dans l'action. L'observation des évolutions de l'état des champs permet aux concepteurs d'évaluer et d'ajuster l'objet en cours de conception. La mise en œuvre d'une pratique ou d'un système de culture peut déclencher des évolutions inattendues (positives ou négatives), qu'on ne pouvait pas imaginer avant d'avoir mis en œuvre le système dans une situation spécifique : la confrontation à la situation d'action contribue elle-même au processus de conception.

Différents dispositifs sont mis en place pour évaluer en situation les objets conçus et/ou ajuster ces objets pour atteindre l'objectif visé. Les **expérimentations systèmes**[8] permettent de tester sur le long terme des combinaisons logiques de techniques pour atteindre un objectif (Deytieux et al., 2012; Petit et al., 2012). Par exemple, l'expérimentation système SIC (Systèmes Innovants sous Contraintes) a été mise en place pour tester des systèmes de culture avec divers objectifs ambitieux relatifs à l'usage des produits phytosanitaires ou d'émissions de gaz à effet de serre (Colnenne-David and Doré, 2015). **Des expérimentations sont également mises en place par des agriculteurs**, afin de tester, sur une petite surface, une nouvelle technique ou combinaison de techniques, avant de la mettre en œuvre sur toute l'exploitation (Catalogna et al., 2018). Des travaux soulignent également l'intérêt de combiner deux types d'expérimentations pour introduire une culture mineure, la caméline, dans les itinéraires techniques (Leclère et al., 2018) : des essais menés par des scientifiques (pour mesurer l'effet de différents itinéraires techniques de caméline sur les adventices) et des essais « libres » conçus et suivis par les agriculteurs eux-mêmes pour tester différentes modalités d'insertion de la caméline, appelés les essais « agriculteurs-expérimentateurs ». Des dispositifs sont également mis en place dans le cadre de politiques publiques, comme par exemple le réseau DEPHY EXPE dans le cadre du plan Ecophyto. C'est un dispositif de suivi et d'évaluation de systèmes de culture mis en œuvre en parcelles d'agriculteurs, visant à réduire l'usage des produits phytosanitaires. Des évaluations multicritères sont réalisées pour évaluer les expérimentation DEPHY en mobilisant l'outil CRITER (Schaub et al., 2019).

1.3.2. Des communautés de pratiques pour favoriser la conception de systèmes agroécologiques

La conception collective de systèmes agroécologiques nécessite d'échanger des connaissances, des idées, permettant de construire, progressivement, des pratiques innovantes répondant aux objectifs visés par les agriculteurs. Depuis quelques années, on observe de plus en plus de collectifs d'agriculteurs qui se regroupent dans cet objectif, afin de partager des expériences entre pairs sur la mise en œuvre de pratiques agroécologiques, améliorées progressivement au cours du temps (Slimi et al., 2021). La constitution de ces collectifs est soutenue par les politiques publiques : les GIEE[9] par exemple, développés dans le cadre du plan Agroécologique pour la France, les groupes DEPHY-Ferme, constitués dans le cadre du Plan Ecophyto.

[8] Les expérimentations systèmes se distinguent des expérimentations factorielles, réalisées en station expérimentale (en situation contrôlée) pour tester l'effet d'une technique (ex. expérimentations pour comparer différentes combinaisons de densités et des dates de semis et l'effet sur le rendement).

[9] « Les groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE), créés pas la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt, permettent d'accompagner et de valoriser les agriculteurs qui s'engagent collectivement à mettre en œuvre un projet de modification ou de consolidation durable des pratiques qu'ils emploient pour la gestion de leurs systèmes de production, en visant une performance à la fois économique, environnementale et sociale. » (Décret n°2014-1173)

Ces collectifs d'agriculteurs s'apparentent **aux communautés de pratique** (Encadré 2), décrites par Wenger (2000). Ces communautés de pratique constituent un appui pour les agriculteurs dans l'apprentissage et la mise en œuvre de pratiques nouvelles (*learning by doing*). Elles regroupent des agriculteurs et d'autres acteurs de la R&D (conseillers, transformateurs, etc.) autour d'un objectif commun, et se caractérisent par les activités qu'ils réalisent autour des pratiques qu'ils conçoivent et apprennent collectivement à maitriser et à mettre en œuvre. Ce concept a été mobilisé pour décrire des groupes autour du développement de l'agriculture biologiques (Morgan, 2011), ou de l'agriculture de conservation des sols constitués par le réseau BASE, développé d'abord en Bretagne puis à l'échelle nationale (Goulet et al., 2008).

Souvent, les membres d'une communauté de pratique mobilisent des espaces d'échanges fermés ou ouverts, qu'ils soient géographiquement proches (comme les agriculteurs d'un GIEE pour l'agroécologie) ou dispersés (comme les agriculteurs du réseau national BASE), ce qui questionne le lien entre les connaissances qui circulent dans ces réseaux et la conception de pratiques innovantes.

Encadré 2. Une communauté de pratique

Une communauté de pratique a été définit comme suit :

> *« Communities of practice are groups of people who share a concern, a set of problems, or a passion about a topic, and who deepen their knowledge and expertise in this area by interacting on an ongoing basis. (…) These people don't necessarily work together every day, but they meet because they find value in their interactions. As they spend time together, they typically share information, insight, and advice. »* (Wenger 2000).

Elle se caractérise par un domaine, une référence à une pratique et une communauté :

- « *un domaine, c'est-à-dire ce sur quoi portent les discussions et les activités des membres ;*
- *une référence à une pratique, c'est-à-dire l'ensemble des actions, connaissances, compétences, représentations, outils professionnels qui font sens pour les membres dans le cadre de leur domaine ;*
- *une communauté, c'est-à-dire les liens qui se tissent entre les membres, les discussions, les négociations, les prises de décisions qu'ils prennent ensemble en collaborant* » (Daele, 2009)

Le fonctionnement de cette communauté repose sur :

- *« un engagement mutuel des acteurs dans la communauté en établissant des normes sociales d'interaction ;*
- *une entreprise commune qui fonde l'objectif commun que la communauté s'est assignée ;*
- *un répertoire partagé de ressources communes (le langage, les routines, les artefacts, les histoires de guerre)* » (Lièvre et al., 2016).

Conclusion de la section 1.2. La conception de systèmes agroécologiques

Dans cette partie sur la conception de systèmes agroécologiques, nous retiendrons que :

- Le changement de systèmes visant à répondre aux enjeux de la transition agroécologique n'est ni trivial ni aisé. Il est nécessaire de modifier en profondeur les systèmes en passant par des processus de conception adaptés à chaque situation.
- Le changement de pratiques dans le cadre de la transition agroécologique repose sur la mise en place de processus de conception innovante, collective et située, et enrichis par l'action.
- Des méthodes ont été développées pour soutenir la conception de systèmes agroécologiques, à l'échelle du processus global de conception ou d'étapes spécifiques. Ces méthodes sont complémentaires et peuvent être combinées entres-elles.
- La conception de systèmes agroécologiques bénéficie d'échanges entre les acteurs agricoles, en particulier les agriculteurs, dispersés sur les territoires ou dans les organismes.
- Des communautés de pratiques s'organisent pour favoriser les échanges entre des agriculteurs.

Ces éléments conduisent à s'interroger i) sur la production d'outils pour accompagner les acteurs pour concevoir des systèmes agroécologiques, génériques (adaptés à une diversité de situations) mais également singuliers, pour permettre la construction de solutions adaptées à la spécificité de chaque situation de conception, et ii) sur les raisonnements mobilisés par les concepteurs pour répondre à ces enjeux ambitieux. Il apparaît souhaitable de favoriser les processus de conception collective afin d'impliquer une diversité d'acteurs concernés par ces enjeux. Cela met en exergue le rôle de l'animateur des processus de conception innovante, qui doit favoriser les échanges et les débats entre des acteurs qui détiennent des visions multiples sur la manière de répondre à ces enjeux (visions parfois antagonistes).

2. Les apports de l'ergonomie cognitive sur le processus de conception

2.1. Définitions du processus de conception issues de l'ergonomie cognitive

2.1.1. Une activité de résolution de problèmes

D'un point de vue général, la conception est un **processus** qui consiste à créer un objet qui n'existe pas encore, pour répondre à un nouveau besoin, et à l'inscrire dans un environnement sociotechnique. Simon est l'un des premiers auteurs à défendre, dans les années 1960, l'existence d'une science de la conception. Il propose une définition de la conception d'un point de vue cognitif, alors envisagée comme une activité de **résolution de problèmes** et comme une activité de recherche de compromis (première édition de son ouvrage *Sciences of the artificial* en 1969). Un problème de conception est alors associé à un problème non routinier (Bonnardel, 2009), dans la mesure où il n'existe pas de procédure connue pour le résoudre, il est impossible pour le concepteur de trouver une solution « en mémoire » (déjà existante). Dès les premières études cognitives sur la conception (Eastman, 1969), les problèmes de conception sont qualifiés de problèmes « mal définis » (« mal structurés » selon Simon (1973)) : l'état initial du problème n'est pas spécifié complètement au démarrage. Il n'y a pas de solution unique et optimale à un problème de conception, il existe un ensemble de solutions possibles, qui peuvent être acceptables et satisfaisantes (les concepteurs recherchent ainsi des compromis). « *Les concepteurs sont souvent incapables de récupérer une réponse prédéfinie en mémoire (ndlr : car elle n'existe pas) : pour arriver à une solution, ils doivent construire de nouvelles procédures* » (Visser, 2009a). **La résolution d'un problème de conception distingue deux étapes « *problem framing* » et « *problem solving* »** (Simon 1973) : la formulation d'un problème et la génération d'une solution (souvent considérée comme la « conception sensu stricto »). Il y a toujours une **coévolution du problème et de la solution** (Dorst and Cross, 2001), dans la mesure ou les concepteurs spécifient progressivement le couple « problème-solution ». Le nouvel objet est progressivement défini, caractérisé, ses propriétés sont définies, au fur et à mesure que la définition du problème à résoudre se précise. La conception est ainsi un processus de transformation pour passer d'un état initial à un état final, répondant mieux aux aspirations du concepteur. Cross (2008) décrit ce processus de transformation par une succession d'étapes de divergence et de convergence, pour élargir et resserrer l'espace des solutions (Encadré 3).

2.1.2. La conception, une activité de construction de représentations

D'autres auteurs proposent d'envisager la conception comme une activité de **construction de représentations** (Visser, 2006; Visser, Darses et Détienne, 2004). La vision de la conception proposée consiste alors à produire (et utiliser) de nombreuses représentations intermédiaires de l'objet à concevoir – l'artefact. Par exemple dans des situations de conception collective, les concepteurs partagent des représentations différentes du projet, de l'objet à concevoir.

> *"La conception consiste à spécifier un artéfact (l'artéfact produit), à partir de spécifications de départ (requirements) qui indiquent – en général de façon ni explicite ni exhaustive – les fonctions à remplir par l'artéfact, ainsi que les besoins et buts qu'il doit satisfaire, étant donné certaines conditions (exprimées par des contraintes). Sur le plan cognitif, cette activité de spécification consiste à construire des représentations de l'artéfact à concevoir – elles-mêmes aussi des artéfacts – jusqu'à ce que ces représentations soient si précises, concrètes et détaillées qu'elles spécifient complètement et explicitement la réalisation de l'artéfact produit (spécifications de réalisation)."* (Visser, 2009a)

Encadré 3. La conception, une succession d'étapes de divergence et de convergence

Certains auteurs définissent le processus de conception créative comme une succession d'étapes de divergence et de convergence, respectivement pour élargir et affiner l'espace des solutions vers une solution possible (Figure 6). « *The overall design process is convergent, but it includes periods of both convergence and divergence* » (Cross 2008).

Les étapes de divergence élargissent l'espace des solutions, en considérant les alternatives possibles. Alors que les étapes de convergence resserrent cet espace, par la recherche de compromis.

> *« Convergent thinkers are usually good at detail design, at evaluation and at selecting the most appropriable or feasible proposal from a range of options. Divergent thinkers are usually good at concept design, and at the generation of a wide range of alternatives »* (Cross 2008).

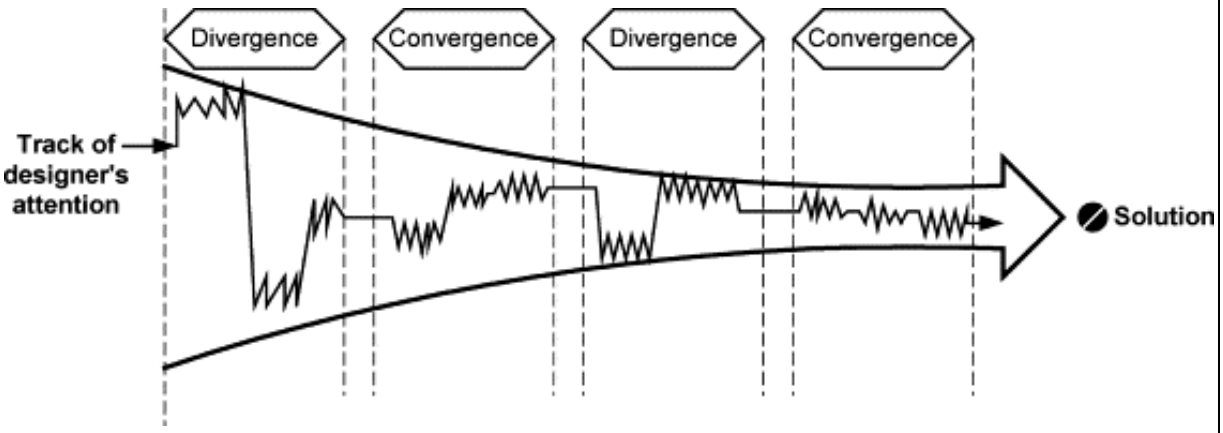


Figure 6. Le processus de conception est constitué d'une succession d'étapes de convergence et de divergence

Le concepteur produit **des représentations externes** de l'objet à concevoir : par exemples des plans, des schémas, des modèles ou encore des maquettes. Les représentations externes sont des représentations des états intermédiaires de la solution, en cours de construction (Safin, 2011). Elles constituent des supports de l'activité cognitive. Par exemple en architecture, la réalisation de croquis soutient l'activité de conception (Safin, 2011), en permettant une « conversation avec le dessin » décrite par Schön (1992). Dans des situations de conception collective, la génération et la manipulation des représentations externes facilitent d'une part la compréhension commune du problème de conception à résoudre et d'autre part la construction de représentations partagées de la solution à construire (Cross 2011 cité dans (Joachim et al. 2012)).

2.2. Les différentes activités dans un processus de conception

La conception repose sur trois activités[10] interconnectées: la reformulation/structuration du problème de conception, le développement d'une solution, et l'évaluation de la solution (Darses et al., 2004a; Visser, 2002). En pratique, ces activités progressent en interaction, et ne peuvent être dissociées.

2.2.1. La structuration du problème de conception

« *Design is purposeful, and the activity of designing is goal oriented* » (Gero, 1990). Un problème de conception est caractérisé par un état initial et un état but, au départ *"*mal définis*"*, incomplets et précisés progressivement par le(s) concepteur(s) durant le processus. Au démarrage du processus, les critères pour évaluer les solutions ne sont pas clairement identifiés et « *il manque une procédure pour appliquer ces critères* » (Visser, Darses et Détienne, 2004). Le problème de conception est reformulé, restructuré : « *Design problems are incompletely specified but the specification of a problem space requires complete information about start states, goal states, operators, and evaluation functions* » (Goel and Pirolli, 1992).

Une des stratégies établies pour définir le problème de conception est **la décomposition** de ce problème en sous-problèmes (sous-buts) à traiter séparément (l'approche d'Alexander (1964) cité par Simon 1973). Cependant, certains auteurs considèrent que la décomposition est une stratégie peu mobilisée pour les projets de conception complexes (non routiniers) qui empêchent l'identification de sous-problèmes indépendants (Visser, 2009).

Le problème initial est souvent associé à des contraintes, parfois définies dans un cahier des charges pour la conception (appelées des contraintes prescrites dans la littérature, Bonnardel (2000)). De nouvelles contraintes peuvent être identifiées au cours du processus d'exploration des solutions (contraintes déduites), d'autres éliminées, ce qui permet d'une part de restructurer progressivement le problème de conception, et d'autre part d'affiner l'espace de recherche (recherche de solutions qui répondent aux contraintes). Ainsi, **le problème et la solution évoluent conjointement**, et ne peuvent être dissociées (Dorst and Cross, 2001), l'activité de structuration du problème prend place en même temps que la génération de solutions.

[10] Les ergonomes distinguent la tâche de l'activité (Leplat and Hoc, 1983). La tâche peut être prescrite, ce qu'une personne est censé faire, ou effective, celle que la personne se donne elle-même et qu'elle réalise « effectivement ». L'activité « renvoie à ce que la personne met en œuvre pour exécuter la tâche qu'elle s'est fixée » (Visser, 2007). On parle d'activité mentale, la cognition, lorsque la personne « utilise ses connaissances et autres sources d'information auxquelles elle fait appel » (Visser, 2007).

2.2.2. Le développement/génération d'une solution

Compte tenu de la complexité des problèmes de conception, les concepteurs ne recherchent pas une solution unique à un problème, mais un ensemble d'éventualités possibles. La conception est définie **comme une activité opportuniste** (Bisseret et al., 1988; Visser, 1990a), dans la mesure où le concepteur « *essaie de profiter des données à sa disposition* » (Visser, 2009). Différentes stratégies sont mobilisées lors de la génération de solutions, allant de l'évocation de solutions préexistantes à l'élaboration de solutions à partir de zéro (Visser, 2007). « *Il n'existe pas de procédures prédéterminées de développement de la solution* » (Darses and Falzon, 1996) ; « *Many designers seem to operate with no explicit design strategy* » (Cross, 2008).

Pour s'inspirer, élargir ou restreindre l'espace d'exploration, le concepteur réutilise des connaissances et des solutions connues (Burkhardt and Détienne, 1995; Détienne et al., 1996). **Le raisonnement analogique** est fondamental dans la conception de solutions créatives : le concepteur relie alors un problème à résoudre, appelé le problème cible, à un problème résolu dans le passé, nommé le problème source (Bonnardel, 2000). Le concepteur emprunte parfois des connaissances ou des idées existantes provenant de domaines éloignés (ex. le biomimétisme pour développer un nouvel objet en s'inspirant du vivant). Dans d'autres situations, le concepteur élabore une solution à partir de zéro, c'est **le raisonnement « ex nihilo »** (*from scratch*). Néanmoins, *« l'activité de conception ne se base jamais complètement sur des réutilisations, et un problème n'est jamais résolu entièrement ex nihilo* » (Safin, 2011).

Cependant, le processus de réutilisation de connaissances et de solutions peut freiner le processus : les concepteurs restent « fixés » sur des solutions connues (Agogué et al., 2014; Jansson and Smith, 1991; Ward, 1994[11]). **La fixation cognitive** (*design fixation*) - ou conformité aux exemples fournis (Bonnardel, 2009) - est observée lorsqu'un individu ou un groupe *« éprouve des difficultés à s'écarter d'une idée particulière pour en générer des alternatives originales* » (Brun, 2017). Des solutions sont testées pour contrer l'effet de fixation (Crilly and Cardoso, 2017; Vasconcelos and Crilly, 2016), comme par exemple l'apport d'exemples interdomaines qui ne relèvent pas du même du même domaine conceptuel de l'objet à concevoir (Bonnardel 2009), l'utilisation d'exemples verbaux (Agogué et al., 2011) ou des images (Brun, 2017).

Comme évoqué précédemment, la suppression de **contraintes** ou l'identification de nouvelles contraintes au fil de la conception participent à la génération de solutions. Les contraintes restreignent ou rouvrent l'espace de solutions, et orientent la recherche de solutions nouvelles : « *elles dirigent ou promeuvent la recherche dans de nouveaux espaces* » (Stokes, 2009 cité dans Safin, 2011).

Une autre stratégie qui contribue au développement des solutions est la spécification de **fonctions** attendues par l'objet à concevoir : « *The metagoal of design is to transform requirements, generally termed functions, which embody the expectations of the purposes of the resulting artifact, into design descriptions* » (Gero, 1990). Le processus de conception est présenté dans le cadre FBS (Function-Behaviour-Structure framework) comme un processus de transformation entre la fonction (F), le comportement (B) et la structure (ou forme) (S) de l'objet (Gero and Kannengiesser, 2004).

[11] Dans cette étude, des étudiants en psychologie avaient pour objectif de dessiner le portrait d'un animal extraterrestre rencontré sur une autre planète. Les solutions proposées par les étudiants comportaient pour la plupart des « traits » connus : des organes sensoriels connus (yeux, oreilles), des membres habituels (bras, jambes), avec une symétrie de forme.

L'objectif est alors de lier la fonction de l'objet à concevoir[12] à sa structure via son comportement:

- les fonctions que l'artefact doit réaliser ;
- les comportements (attendus) de l'artefact afin de réaliser les fonctions, qui peuvent être dérivées de la structure de l'artefact ;
- la structure, les composants de l'artefact et leurs relations.

2.2.3. L'évaluation des solutions (la mise en œuvre)

Le concepteur évalue l'objet à concevoir et ses représentations intermédiaires au fil de la conception. Les activités d'évaluation réflexive « *effectuées par le concepteur au cours de sa propre activité de conception* » (Bonnardel, 1999) ne peuvent être dissociées des activités de structuration du problème et de génération des solutions. Comme évoqué précédemment, les critères pour évaluer les solutions ne sont pas clairement identifiés au démarrage de la conception : ils n'existent pas et sont identifiés au fur et à mesure du processus. Les solutions peuvent être évaluées partiellement au cours de la conception et/ou analysées en profondeur à la fin du processus. Il y a des cycles d'élaboration-évaluation qui permettent au concepteur de sélectionner une solution, peut-être en la modifiant partiellement, ou de l'abandonner au profit d'une autre (Bonnardel, 2009). Les décisions prises au fur et à mesure du processus de conception, de conserver ou non une solution, peuvent être « opportunistes ». Le caractère satisfaisant ou insatisfaisant de la solution n'est pas toujours simple à déterminer. « *Ces difficultés peuvent être dues à différents facteurs: des connaissances évaluatives limitées, une anticipation difficile des caractéristiques du produit final et une méconnaissance du comportement réel des futurs utilisateurs* » (Bonnardel, 1999).

L'utilisation de représentations intermédiaires de la solution en construction permet au concepteur d'avoir une « conversation réflexive avec la situation » (Schön, 1992; Schön and Wiggins, 1992). Ainsi le concepteur produit des « connaissances en action » ce qui lui permet d'évaluer la solution en cours de développement (ex. réinterpréter, modifier cette solution, ou considérer de nouvelles alternatives). L'utilisation de représentations intermédiaires facilite ce processus d'évaluation en collectif (par la visualisation commune, la prise en compte des annotations des individus), et permet de transmettre une information plus facilement au sein du groupe (processus d'externalisation notamment évoqué dans Bonnardel (2009)).

Safin (2011) identifie les fonctions cognitives des représentations externes : « *alléger la charge mentale, structurer le comportement, matérialiser l'information et étendre la cognition* ». Ainsi, les connaissances présentes sur les représentations externes peuvent être perçues et traitées directement. La deuxième fonction fait référence au concept d'affordances rendues possibles par les représentations intermédiaires, qui incite l'utilisateur « à adopter tel ou tel type de comportement » (Safin, 2011). Ce concept d'affordance est également mobilisé en agronomie (Ditzler et al., 2018). Les représentations externes permettent à l'utilisateur de manipuler, réinterpréter et reformuler l'information. Elles deviennent alors « un objet indépendant de la cognition ». Enfin, les représentations externes externalisent les informations, et permettent ainsi *« d'utiliser des outils et artefacts plus puissants pour le traitement de cette information*. » (Safin, 2011).

[12] Si l'objet à concevoir une fenêtre, les fonctions attendues sont notamment d'introduire la lumière, de contrôler la ventilation et d'isoler du bruit. La structure de la fenêtre est caractérisée par des éléments comme le vitrage, le cadre ou la poignée. Des exemples de comportement sont la transmission lumineuse, le taux de ventilation, maximiser ou minimiser les gains de chaleur (Gero, 1990).

2.3. Les spécificités de la conception collective

Deux situations de conception collective sont distinguées dans la littérature : **les situations de co-conception et les situations de conception distribuée** (Darses and Falzon, 1996). Dans les situations de co-conception, les concepteurs construisent la solution « conjointement ». Inversement dans les situations de conception distribuée, les acteurs sont engagés simultanément, mais non conjointement, dans la conception (selon leurs expertises). La conception distribuée est fréquente dans les activités des bureaux d'études. Il est important de préciser qu'un projet de conception peut inclure successivement des phases de co-construction ou des phases de conception distribuée.

Les formes de **collaboration** entre les concepteurs varient selon la situation collective mise en place. Par exemple, dans des situations distribuées, la « synchronisation opératoire » est cruciale (Darses and Falzon, 1996), pour coordonner les échanges entre les concepteurs qui réalisent différentes tâches de manière individuelle, en tant que sous-problèmes du problème global (et développent un « morceau » de la solution). « Dans les situations de conception industrielle, la synchronisation opératoire se concrétise dans les tâches dites de management de projet. » (Darses, 2009). En revanche, dans les situations de co-conception, c'est la « synchronisation cognitive » qui est majeure (appelée *grounding*). Il apparaît important que les co-concepteurs partagent des références et des connaissances communes sur la situation (ex. partage de solutions connues, de contraintes), pour produire une solution acceptée par tous.

> *« Common ground refers to that knowledge people (who interact each other) have in common and they are aware that they have it in common. The establishment of common ground ('grounding') is an important process in design tasks, because of the domain and cultural differences of co-designers. »* (Détienne, 2006)

Conclusion de la section 2. Le processus de conception

Dans cette partie sur les caractéristiques d'un processus de conception, issues de travaux en ergonomie cognitive, nous retiendrons que :

- D'un point de vue général, la conception est un processus qui consiste à créer un nouvel objet. Les processus de conception mobilisent trois grandes « étapes »: la reformulation du problème de conception, la génération (qui suppose une exploration large de nouvelles idées) et l'évaluation des solutions. En pratique, ces étapes progressent en interaction, et ne peuvent être complètement dissociées.
- Dans la suite du document, nous utiliserons le terme d'objectif de conception pour évoquer la cible à atteindre, caractérisée par les contraintes propres à la situation (ex. contraintes prescrites[13] issues d'un cahier des charges).
- Dans les situations de conception collective, il est important de faciliter la synchronisation cognitive (*grounding*), notamment par le partage des représentations de l'objet à concevoir.

Les apports de l'ergonomie cognitive conduisent à s'interroger sur les caractéristiques des activités de conception de systèmes agroécologique, et la manière d'accompagner les acteurs dans ces activités et leur articulation. Notamment la temporalité des processus global de conception de systèmes de culture est longue (invention et implémentation du système agroécologique), déterminée par la durée de phénomènes naturels (saison climatique, saison culturale). Les activités des concepteurs y sont fortement dépendantes.

Dans la thèse, nous nous appuyons sur ces notions pour comprendre les manières dont les acteurs agricoles réalisent la conception de systèmes agroécologiques, par exemple quelles sont les stratégies pour reformuler le problème de conception, comment ils échappent au phénomène de fixation, quelles sont les connaissances mobilisées pour pouvoir réutiliser des solutions passées.

[13] Se référer aux travaux de Nathalie Bonnardel

3. Les connaissances mobilisées dans des processus de conception et la capitalisation des connaissances issues de ces processus

3.1. Les connaissances pour concevoir les systèmes de culture agroécologiques

3.1.1. Diversité de connaissances mobilisées

Les connaissances scientifiques sont souvent produites dans des situations contrôlées (ex. en laboratoire), elles sont généralement considérées comme « *génériques, valides et applicables à de larges échelles et à une large gamme de situations* » (Girard, 2014). Cette généricité provient soit du fait qu'elles ont été établies dans une large gamme de conditions, soit du fait qu'elles sont représentées sous forme de lois générales applicables partout : par exemple, la loi de la courbe de dilution de l'azote (Lemaire et al., 2008), ou la loi de production de biomasse à partir du rayonnement intercepté, proposée par Monteith (1972). Leur validité est généralement acquise par le fait qu'elles ont été produites avec des méthodes scientifiques, rigoureuses, répétables, reconnues par les pairs. Les connaissances scientifiques sont vérifiées et prouvées, selon des protocoles définis. Par exemple, pour caractériser l'effet d'une technique, des tests sont réalisés pour mesurer l'effet de cette technique, indépendamment des autres (expérimentation analytique). Les essais menés chez des agriculteurs permettent également de produire des connaissances scientifiques : par exemple l'analyse de la trajectoire plancher de l'INN, qui permet d'interpréter un indicateur mesuré et de prendre une décision (Jeuffroy et al., 2019; Ravier et al., 2018). Dans le modèle diffusionniste des innovations (*top-down*), les connaissances scientifiques sont ensuite transférées aux acteurs de terrain, après avoir été transformées en connaissances opérationnelles (ex. les résultats des modèles mécanistes sont traduits dans des outils d'aide à la décision). A côté des connaissances explicites, transcrites par écrit, et qui caractérisent essentiellement les connaissances scientifiques, certains auteurs mentionnent l'existence de connaissances tacites (Nonaka and Takeuchi, 1995), acquises et transmises par des praticiens de terrain (agriculteurs, conseillers), dans des situations singulières. Elles sont difficiles à formaliser et à communiquer : « *We can know more than we can tell* » (Polanyi 1966 cité dans Soulignac 2012). Elles sont généralement perçues comme des connaissances imparfaites (*imperfect, insufficient or unsuited*) (Girard, 2015), et leur validité est souvent questionnée dans la littérature (Doré et al., 2011) : comment « faire la preuve » à partir de telles connaissances ?

L'agroécologie repose sur une hybridation des connaissances scientifiques et empiriques (Girard, 2014). On ne dispose pas de toutes les connaissances scientifiques sur les objets (nouveaux) étudiés en agroécologie, les connaissances empiriques viennent compléter les trous de connaissances (ex. savoirs traditionnels des agriculteurs), et jouent un rôle important dans le processus d'innovation. Par exemple, les interactions plantes-insectes ont été étudiées pour la conception de bandes fleuries visant à favoriser les conditions de maîtrise des ravageurs des grandes cultures. Or on est loin de connaître les interactions de chaque plante avec chaque auxiliaire, qu'elles soient spontanées ou dépendantes de l'effet des pratiques agricoles, c'est pourquoi des observations empiriques et des connaissances établies dans l'action ont été mobilisées pour faire évoluer la composition de la bande fleurie (Gardarin et al., en cours). Les situations de co-conception renforcent l'hybridation des connaissances scientifiques et empiriques en réunissant des acteurs divers, dispersés sur le territoire ou dans les organismes.

De plus, des travaux démontrent que des connaissances sont produites au cours de processus de conception incluant une diversité d'acteurs (Toffolini et al., 2020). Les processus de conception génèrent de nouvelles idées qui amènent à identifier des trous de connaissances à combler pour poursuivre le processus de conception (Ravier et al., 2018).

3.1.2. Mobilisation de connaissances pour comprendre, et pour agir

3.1.2.1. Des connaissances fonctionnelles pour comprendre

Les concepteurs mobilisent des connaissances dans la conception qui « aident à comprendre comment fonctionne l'agroécosystème » (Meynard, 2016). **Ces connaissances fonctionnelles, fondamentales,** sont mobilisées par les agriculteurs dans des situations de conception des systèmes techniques qui tendent vers l'agroécologie, lors des deux étapes d'invention et d'implémentation de ces systèmes (Toffolini et al., 2017). Ces connaissances portent en partie sur des objets nouveaux, alors que la production de connaissance, par le passé, concernait davantage les flux d'eau, de carbone et d'azote : les bioagresseurs, les auxiliaires, les processus biologiques. Il s'agit de comprendre également les processus biologiques sur lesquels on veut agir : par exemple les conditions de germination des adventices. Ces connaissances sur ces objets nouveaux peuvent être des connaissances scientifiques (ex. sur la compréhension de la fixation symbiotique ou du fonctionnement d'un réseau mycorhizien, invisibles à l'œil nu, par des essais en laboratoire ou en parcelle agricole) ou alors des connaissances empiriques détenues par les praticiens, peu formalisées et issues de l'action (ex. observations des périodes de vol d'un auxiliaire peu étudié). C'est le cas notamment d'indicateurs qui permettent aux agriculteurs d'interpréter une évolution de l'agroécosystème, sous l'effet d'une pratique.

> *« The knowledge used was fundamental, in the sense that it described 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 2, line 2). We call it descriptive as it focuses on the intrinsic mechanisms of the object, at its scale. Thus, 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. » (Toffolini et al., 2017)*

La mobilisation de connaissances fonctionnelles pour agir est parfois représentée dans des outils spécifiquement conçus par les agronomes pour gérer un processus de conception. Ainsi, un tableau de bord a été proposé et utilisé par des acteurs au sein d'une aire d'alimentation de captage pour représenter le raisonnement de conception, c'est-à-dire la chaine causale qui relie les pratiques à la variable à modifier (la teneur en nitrate de l'eau du captage), en explicitant les processus impliqués et les états des champs souhaités (Paravano et al., 2016; Prost et al., 2018; Reau et al., 2017). Une faible teneur en nitrate de l'eau peut être atteinte en limitant le lessivage hivernal, lui-même directement influencé par la quantité d'azote minéral présent dans le sol en entrée hiver, c'est-à-dire au début de la période de drainage. Cet état peut être atteint par un couvert présent pendant l'automne, avec de bonnes capacités d'absorption d'azote : plus les couverts absorbent l'azote et moins les reliquats sont élevés, en sachant que d'autres processus entrent en jeu. Cette capacité d'absorption dépend de l'implantation et de la réussite d'un couvert ou de repousses de la culture précédentes (Figure 7).

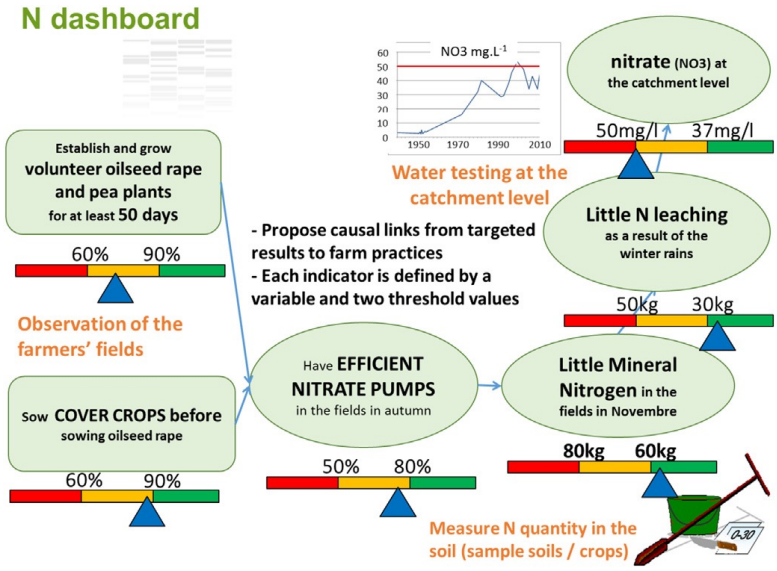


Figure 7. Exemple d'un tableau de bord pour soutenir la conception collective dans une aire d'alimentation de captage en Bourgogne (Prost et al., 2018)

3.1.2.2. Des connaissances actionnables pour agir

Les connaissances fonctionnelles ne sont pas les seules à être mobilisées dans les processus de conception, elles sont souvent accompagnées de connaissances dites actionnables, qui aident à agir (Meynard, 2016). **Les connaissances actionnables** sont des connaissances utiles pour l'action et qui permettent d'accompagner les acteurs dans la mise en œuvre de nouvelles pratiques (Faugère et al., 2010; Geertsema et al., 2016; Leclère et al., 2018). Par exemple, les règles de décision permettent aux acteurs de préciser/d'identifier l'action à mettre en œuvre en fonction de l'état du milieu ou de la culture observé. Dans l'objectif de réduire l'usage des intrants de synthèse, des outils d'aide à la décision sont proposés pour permettre à l'agriculteur de prendre une décision d'agir et/ou de favoriser l'efficience des intrants utilisés. Par exemple, des modèles épidémiologiques, des indicateurs, et des pièges à insectes sont développés pour n'appliquer des pesticides qu'en dernière nécessité (Cerf and Meynard, 2006). La cuvette jaune est ainsi utilisée dans les parcelles de colza pour estimer la pression des ravageurs au printemps et à l'automne, attirés par la couleur jaune, permettant de déclencher (ou non) un traitement insecticide.

Les indicateurs de pilotage sont également des connaissances qui facilitent la mise en action. Ce sont des indicateurs souvent visuels, basés sur des observations de l'état des champs, instrumentés ou non (Toffolini et al., 2016b). Ces indicateurs concernent des objets directement concernés par l'action (ex. stade des adventices pour déclencher un désherbage mécanique), mais également d'autres composantes de l'agroécosystème (ex. plantes bio-indicatrices, conditions climatiques favorables ou défavorables). Ils permettent de déclencher l'action : par exemple, la destruction d'un couvert par un rouleau FACA s'effectue au stade floraison, le couvert sera plus sensible. Les indicateurs permettent également d'interpréter l'effet d'une pratique ou d'une combinaison de pratiques (Toffolini et al., 2016b). Par exemple, l'efficacité d'un désherbage mécanique s'observe par l'état du sol et des adventices après le passage de l'outil, ce qui permet d'anticiper les actions à venir selon le résultat obtenu.

Ces connaissances actionnables sont souvent issues de l'action et détenues par les acteurs dispersés. Il apparaît important de les capitaliser et les partager pour les rendre disponibles au plus grand nombre. **La traque aux innovations** est une méthode développée pour repérer et analyser des innovations techniques « atypiques » conçues par des agriculteurs (également des innovations organisationnelles,

de commercialisation). Cette méthode a été mise au point, dans le cadre d'une étude visant à identifier des systèmes « hors-normes » alternatifs aux monocultures de soja en Argentine (Salembier et al., 2016; Salembier and Meynard, 2013). L'identification d'innovations chez les agriculteurs permet de produire des connaissances sur ces innovations « rares » et de faire émerger de nouvelles questions de recherche sur les trous de connaissances identifiés. Les idées et les connaissances issues d'une traque aux innovations peuvent stimuler la conception d'autres acteurs (Salembier 2019). Des travaux de traque aux innovations ont été déployés dans d'autres contextes :

- Les innovations en élevages bovins et ovins allaitants (Ingrand et al., 2014) ;
- les associations d'espèces incluant des légumineuses (Verret et al., 2020) ;
- la gestion des chardons en agriculture biologique (Salembier 2019) ;
- la réduction de l'usage des herbicides en horticulture, production de banane et de canne à sucre, en Martinique (Deffontaines et al., 2020)
- l'insertion de légumineuses dans des systèmes de culture au Burkina Faso (Périnelle et al., 2021).

Les résultats de la traque à l'innovation peuvent servir d'inspiration à d'autres acteurs, concepteurs de systèmes agroécologiques. Les connaissances actionnables produites, en hybridant des connaissances scientifiques et empiriques, sont formalisées dans des « contenus prescriptifs » : « des règles de décision, des combinaisons de règles de décision / itinéraires techniques – systèmes de culture, les témoignages, les processus agronomiques décontextualisés illustrés en pratique, les gammes de techniques et les logiques d'action génériques » (Salembier 2019)

3.2. La capitalisation et le partage de connaissances

3.2.1. Le foisonnement d' « outils » de capitalisation et de partage des connaissances

La capitalisation des connaissances repose sur « l'analyse des connaissances accumulées » qui relève de la collaboration et des échanges entre les acteurs qui détiennent des connaissances individuelles (Ermine, 2003). **Le partage des connaissances (*knowledge sharing*)**, c'est-à-dire la circulation des connaissances (et des formalisations réalisées), a pour objectif « d'optimiser l'apport des connaissances à la production de l'organisation » (Ermine, 2003), dans notre cas, la conception de systèmes agroécologiques. Les acteurs agricoles, notamment les agriculteurs utilisent de plus en plus des espaces de discussion en ligne, mais la capitalisation des connaissances échangées est rarement effectuée : « *si les agriculteurs échangent des connaissances dans un forum ou dans les réseaux sociaux émergents, celles-ci n'y sont ni validées, ni structurées*. » (Ermine, 2003).

On trouve aujourd'hui un foisonnement d' « outils » (ressources cognitives, site internet, plateforme interactive) de capitalisation et/ou de partage de connaissances sur les systèmes agroécologiques et/ou les composantes d'un agroécosystème (Tableau 1). Ainsi, par exemple, des connaissances sur les pratiques, qui reposent sur les principes de l'agroécologie, sont partagées dans la plateforme OSAÉ, notamment des connaissances issues de la mise en œuvre des pratiques par des agriculteurs dans leur ferme (ex. synthèses écrites, formats vidéos). De plus, les sites internet Herbéa[14] et Infloweb présentent des connaissances sur le cycle de vie des bioagresseurs, respectivement les ravageurs et les adventices des cultures. Pour chaque adventice, le site internet Infloweb présente également une liste de techniques agricoles pouvant agir sur son développement, sans lien entre les connaissances sur la biologie de l'adventice et les techniques.

[14] https://www.herbea.org/pages/lutte_bio_conservation ; http://www.infloweb.fr/

Les agronomes ont conçu des « outils de connaissances » spécifiques pour accompagner le changement de pratiques (Petit et al., 2012; Reau et al., 2016). Par exemple, la « carte à idées » permet de donner à voir une gamme de techniques (le « comment faire ») pour atteindre l'objectif de conception, et chaque technique est associée à un ou plusieurs sous-objectifs (« le pour quoi faire »). Dans le cadre du projet Auto'N (2013-2016), plusieurs ateliers ont été réalisés avec des agriculteurs pour concevoir des systèmes de culture plus autonomes en azote en Champagne-Ardenne et Picardie. Au cours de chaque atelier, visant à concevoir le système de culture d'un des agriculteurs du groupe, les autres agriculteurs étaient invités à proposer des solutions techniques argumentées (Reau et al., 2016). Ainsi, une carte à idées a été construite pour représenter les solutions imaginées dans chaque atelier, et une carte à idées de synthèse a permis de rassembler l'ensemble des solutions envisagées durant les ateliers (Figure 8), rendant compte de la large exploration réalisée par les agriculteurs.

Le « schéma décisionnel » est un autre exemple qui représente un système de culture mis en œuvre pour maîtriser les bioagresseurs (adventices, ravageurs, maladies) sous la forme « d'une arête de poisson » (Figure 9). La tête décrit les résultats attendus par le pilote du système, le corps représente la succession culturale et les arêtes représentent les pratiques mobilisées. Chaque pratique est associée à une ou plusieurs stratégies (proposée dans le guide STEPHY, Attoumani-Ronceux et al. (2011)) pour gérer les bioagresseurs : action sur la population initiale, évitement, atténuation en culture (lutte physique) et rattrapage (lutte chimique). Des indicateurs pour faciliter la mise en action sont parfois décrits dans le schéma décisionnel. Les schémas décisionnels sont remobilisées dans les fiches produites par les réseaux DEPHY Ferme et EXPE. Des guides ont également été produits pour permettre leur construction, comme par exemple le guide STEPHY (Attoumani-Ronceux et al., 2011). Le guide de l'expérimentateur système décrit une trame pour guider l'agent en charge de la capitalisation des résultats issus d'une expérimentation-système (Havard et al., 2017), et propose de construire des schémas décisionnels (ex. conseiller agricole de chambre d'agriculture, expérimentateur en institut technique, enseignants en lycée agricole).

Néanmoins, à notre connaissances, il existe peu d'éléments sur la manière dont les schémas décisionnels, et les guides, sont mobilisés dans des situations de conception (les connaissances représentées sont-elles suffisamment actionnables et génératives, pour soutenir le processus de conception chez d'autres agriculteurs ?), et on ne sait pas dans quelle mesure la description d'un système entier, peu transposable, aide à concevoir un système différent ailleurs. De plus, la question se pose de l'adaptation du schéma décisionnel pour d'autres cibles de conception (ex. favoriser la fertilité du sol).

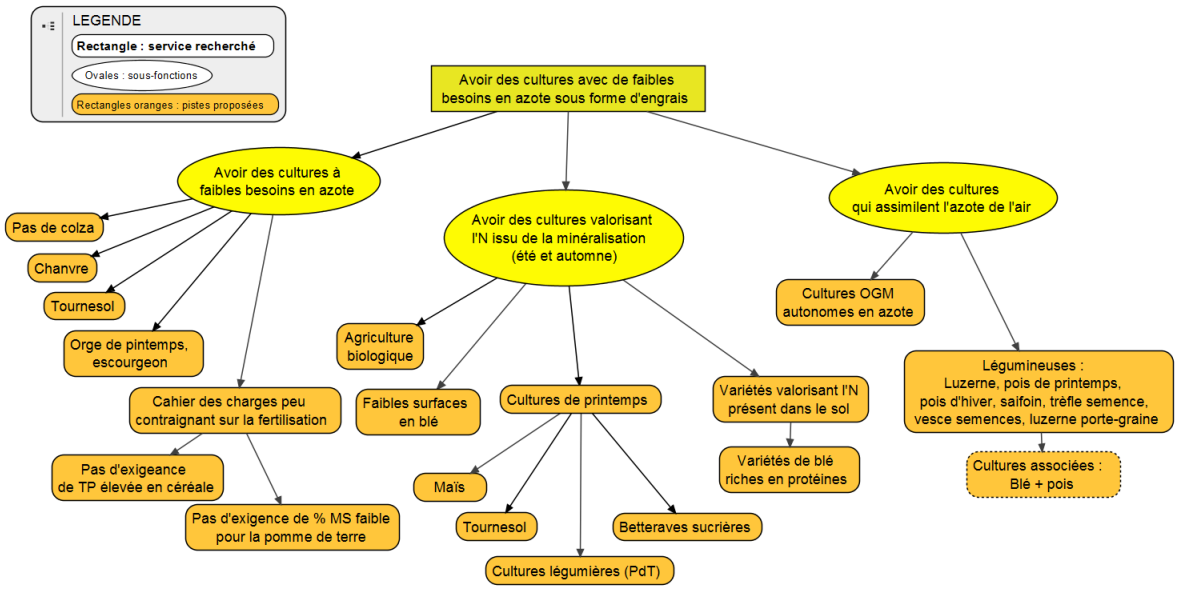


Figure 8. Exemple d'une carte à idées développée dans le cadre du projet Auto'N (Reau et al., 2016)

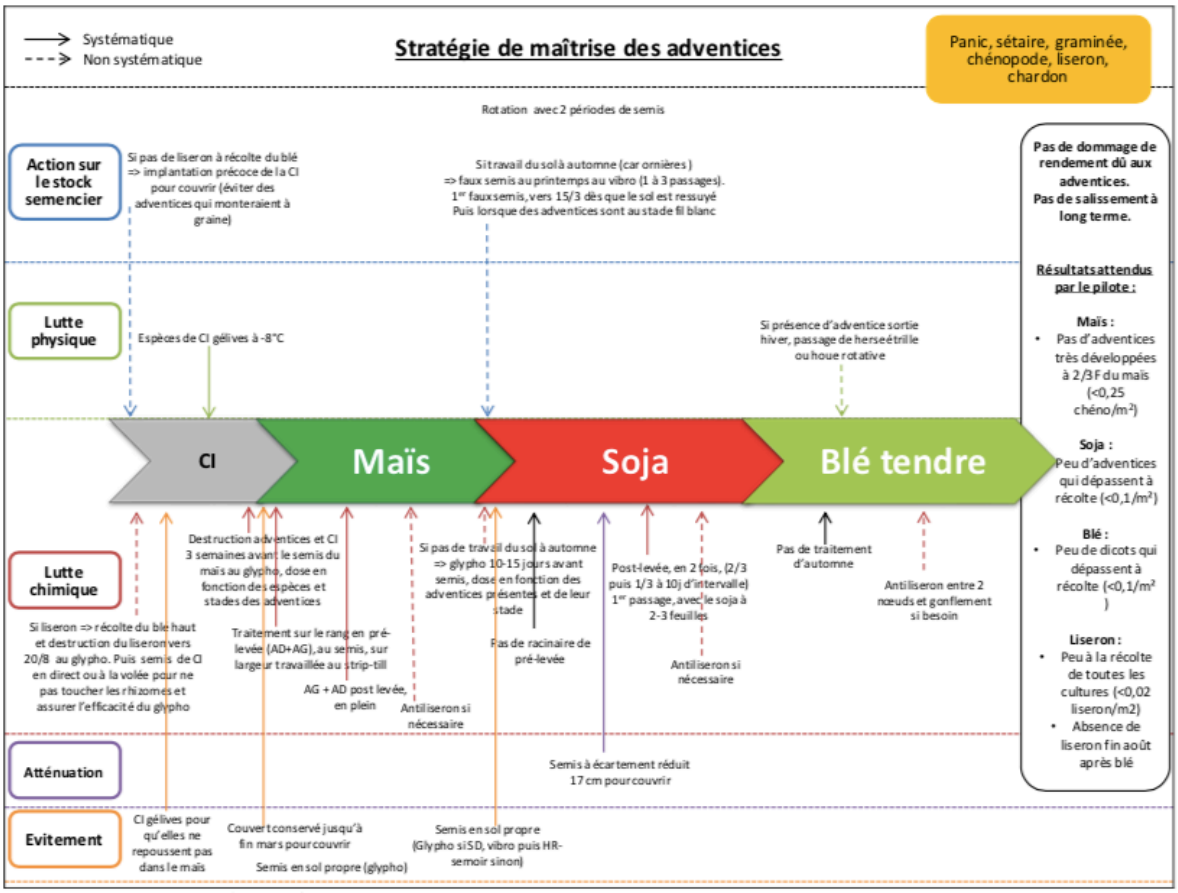


Figure 9. Exemple d'un schéma décisionnel de maîtrise des adventices expérimenté au lycée agricole de Rouffach en Alsace (Reau et al., 2016)

Tableau 1 : Outils consultés sur la capitalisation des connaissances concernant les bioagresseurs et les auxiliaires des cultures (réalisé dans le cadre du projet FORCOCO en Juillet 2019, coll. P. SALAZAR)

Nom de l'outil / Porteur	Type d'outil	Objectif	Connaissances sur	Observations/type de formalisation
Base ABAA EcophytoPIC / ACTA	Plateforme web	Faciliter l'accès à une compilation de ressources en ligne sur la PIC, provenant des différentes sources	Bioagresseurs, Auxiliaires (multi-filières)	Liste de liens pour accéder à d'autres ressources ; pas de relation entre connaissances sur biologie, pratiques et processus écologiques dans une seule ressource.
Base Herbea / Solagro	Site web (outil interactif)	Apporter des connaissances sur la lutte biologique par conservation pour favoriser l'implémentation d'IAE	Ravageurs, Auxiliaires, Cultures, Plantes de service, Pratiques agricoles (multi-filières)	Fiches synthétiques décrivant le cycle biologique et faisant un lien avec les cultures hôtes et les pratiques à mettre en œuvre. C'est un OAD.
E-phytia / INRAE	Site web	Apporter des connaissances sur une diversité de bioagresseurs	Bioagresseurs (multi-filières)	Des contenus différents selon le bioagresseur et la filière (pas de format standardisé)
Infloweb / nombreux partenaires (RMT Florad)	Site web	Apporter des connaissances pour connaître et gérer la flore adventice	Adventices (grandes cultures)	Connaissances synthétisées sur 42 adventices : sur la biologie, l'habitat, la nuisibilité, les méthodes de lutte… (format standard, photos, schémas…)
Auximore / Projet Arena	Site web	Apporter des connaissances pour connaître et gérer les principaux ravageurs	Ravageurs et auxiliaires (grandes cultures)	15 fiches ravageurs (4 pages) et 7 fiches auxiliaires (2 pages) avec un contenu standardisé. Connaissances sur cycle biologique et impact des pratiques
Encyclop' Aphid / INRAE	Site web	Apporter des connaissances sur l'identification de pucerons	Pucerons et leurs ennemis naturels	Fiches, vidéos, photos
Mission Ecophyt'Eau ® (CIVAM)	Jeu de plateau	Concevoir des systèmes de culture économes en intrants	Bioagresseurs, Cultures (grandes cultures)	Fiches synthétiques qui décrivent le cycle biologique, les situations à risque de développement et les leviers d'action inspirés de STEPHY ; Pas de description des processus écologiques mis en jeux
Module : « fiches techniques »	Guide production légumière et fruitière / Ecophyto	Apporter des connaissances sur les techniques pour concevoir des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires	Techniques alternatives (fruits et légumes)	Fiches décrivant la technique, la mise en œuvre, les bioagresseurs concernés, les impacts (22 fiches pour fruits et 26 pour légumes)

3.2.2. AgroPEPS / GECO, un outil de capitalisation collective et de partage de connaissances pour la conception

Dès 2008, le Réseau Mixte Technologique Systèmes de Culture Innovants (RMT SDCI), créé autour de la conception innovante de systèmes de culture, a initié le développement d'AgroPEPS (Produire, Echanger, Pratiquer, S'informer). C'est un « *outil web collaboratif, système d'informations et de gestion de connaissances dédié à l'agroécologie* » (Guichard et al., 2015). Sur la base des besoins exprimés par les acteurs du développement agricole directement impliqués dans la conception de cet outil, AgroPEPS était basé sur l'idée d'interactions entre deux espaces[15] (Soulignac, 2012) : un espace de production et un espace d'échange, appelés respectivement la base de connaissances et le forum. La base de connaissances a été conçue et organisée pour contenir des fiches sur des techniques agricoles avec une structure fixe de type Wiki, décrites de manière générique (Figure 10). L'écriture des *fiches techniques* était souhaitée collective et évolutive. En effet, les connaissances sur les techniques innovantes alternatives sont détenues par des acteurs dispersés dans les territoires et dans les organismes. Ces connaissances progressent au fur et à mesure de leur mise en œuvre, et il était apparu intéressant de faire bénéficier au plus grand nombre de ces avancées issues des mises en œuvre successives, voire des travaux scientifiques nouveaux conduits sur ces techniques ou les processus concernés. Concernant le forum, cet espace d'échange ouvert avait été imaginé par les concepteurs du prototype pour apporter de nouvelles connaissances (ex. connaissances issues de la mise en action de la technique décrite dans une fiche), pour ainsi permettre aux utilisateurs de questionner ou compléter les connaissances disponibles dans la base.

AgroPeps a été développé en collaboration avec l'IRSTEA en 2012, dans un premier temps sans le forum (Soulignac, 2012). La production de *fiches techniques* a été coordonnée par le RMT SDCI (150 fiches rédigées et introduites dans l'outil en 2015). Les étapes de production des fiches techniques étaient les suivantes : une primo-rédaction des fiches techniques (par deux contractuels embauchés sur projets) et une relecture par une diversité d'acteurs de la R&D agricole (chercheurs, ou agents de différents organismes de Développement agricole), partenaires du RMT SDCI (ex. incluant des corrections orthographiques, la validation du vocabulaire, l'amélioration du contenu par l'ajout de connaissances situées ou scientifiques). Ainsi, la rédaction était collective, à distance et en mode asynchrone.

Il existe différents statuts (Figure 11) : le « *visiteur »* qui a accède au contenu de l'outil, le « visiteur identifié », qui a demandé un login et qui peut écrire dans le forum, le « contributeur » qui a des droits d'écriture dans la base de connaissances, et « le modérateur » : « il est *responsable de la gestion des rôles et des statuts. Il peut par exemple attribuer ou retirer le droit de contributeur à un usager. Il peut éventuellement supprimer une page de connaissances si elle est trop polémique ou trop commerciale. Il joue un rôle de « modérateur » en régulant les échanges, en évitant les débordements, l'utilisation du site à des fins commerciales ou revendicatives »* (Guichard et al., 2015).

[15] La conception du prototype AgroPEPS s'est largement inspirée de la théorie C-K (Encadré 4)

Figure 10. Capture d'écran de la présentation d'une technique « Implanter des bandes herbeuses et florales en bordure des parcelles » - extrait présentant le statut de la technique et son sommaire interactif (Guichard et al., 2015)

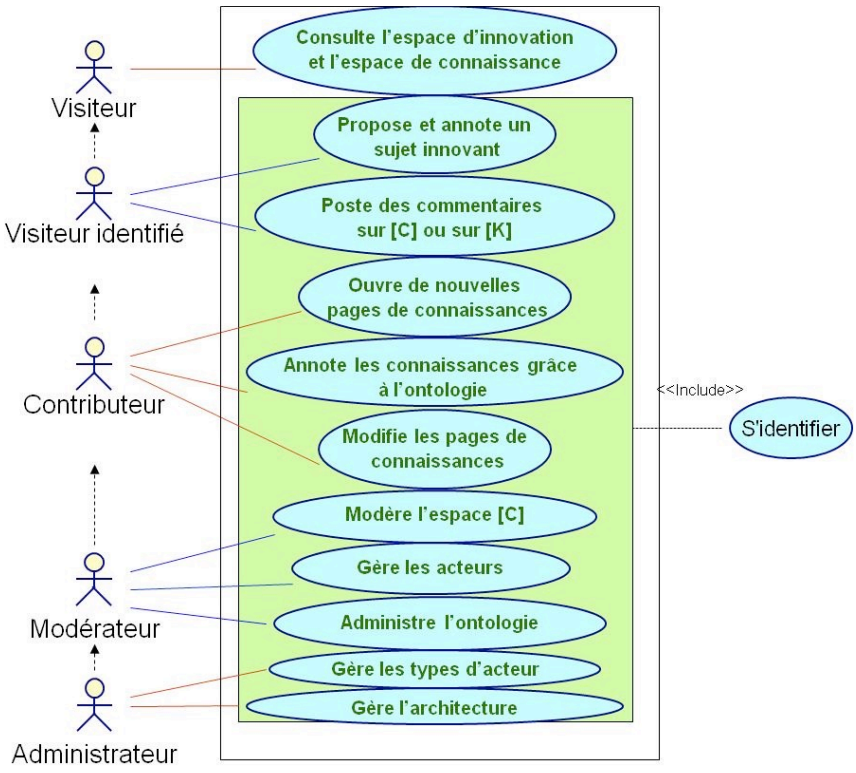


Figure 11. La structuration du collectif des utilisateurs de GECO (Cahier des Clauses Techniques Particulières, 2015)

Deux ans après son développement, le prototype AgroPeps a été identifié comme candidat pour le dispositif GECO (Gestion des Connaissances), un des cinq modules proposés pour le plan Ecophyto I (Guichard et al., 2015; Reau et al., 2009). Un nouvel outil en ligne[16] a alors été créé en 2015 : « IRSTEA est le maître d'ouvrage de l'outil GECO dans un première phase de conception, de construction, de déploiement et de test opérationnel de l'outil avant sa mise en production » (Convention IRSTEA-INRA, 2015). GECO a remobilisé les *fiches techniques* d'AgroPeps, le forum a été informatiquement développé (et amélioré en 2017) et des liens entre les contenus thématiques de GECO ont été rendus possibles par la construction d'un modèle sémantique (Soulignac et al., 2017; Trouche et al., 2016). De nouveaux types de fiches ont été envisagés (les *exemples de mise en œuvre*, le matériel, les bioagresseurs, les cultures) et leur insertion dans l'outil avait été préparée par le développement de liens sémantiques. Les fiches *exemples de mise en œuvre* sont aujourd'hui exclusivement les fiches produites dans le cadre des réseaux DEPHY Ferme et Expé (introduites dans l'outil sous format PDF et pas au format Wiki).

Concernant la gouvernance de l'outil, GECO est aujourd'hui piloté par les quatre Ministères engagés dans le cadre du plan Ecophyto II+ (agriculture et alimentation ; transition écologique ; enseignement supérieur, recherche et innovation ; et solidarité et santé), et coordonné par la direction la Direction Générale de l'ALimentation (DGAL) du Ministère de l'Agriculture. Il est administré par l'Association de Coordination Technique Agricole (ACTA, depuis fin 2017), en relation avec une SSII qui assure le développement informatique.

La construction de base de connaissances d'AgroPEPS prend inspiration de la Communauté Wikipédia, notamment par la structure des *fiches techniques* en Wiki, et du fait qu'un contributeur peut modifier/enrichir le contenu d'une fiche existante. Néanmoins, la contribution est possible pour les utilisateurs qui ont le droit de contribution. « *Ce choix, qui peut paraître écarté de la philosophie Wikipédia, a été largement discuté au sein du collectif. Il repose sur le fait que nous ne disposons pas de la masse critique de contributeurs qui permet (comme dans Wikipédia) de s'autoréguler et de corriger en direct des erreurs ou de fausses informations. »* (Guichard et al., 2015).

La communauté Wikipédia est **une communauté épistémique en ligne** autour de la conception d'articles encyclopédiques (Fréard et al., 2010). Les communautés épistémiques en ligne (CEL) sont des groupes d'individus, organisés autour de la production de connaissances relatives à un objet ou une thématique, dont les membres échangent via Internet. D'autres exemples sont les communautés autour de la conception de logiciels open source (Barcellini et al., 2009), ou encore de Tela Botanica autour du partage et de la production de savoirs botaniques (Heaton and Proulx, 2012). Dans ces CEL, la production de connaissances est collective et volontaire, dans le sens ou les contributeurs co-élaborent des « objets de connaissances » (ex. articles encyclopédiques). De plus, dans les CEL, il ne s'agit pas seulement de produire et de partager des connaissances, mais également de développer les compétences individuelles et collectives dans la pratique considérée, en favorisant un apprentissage mutuel au sein du collectif par la pratique (Détienne et al., 2012). La communauté est régulée par un ensemble de règles, de normes et de valeurs partagées par les membres, notamment autour de la production de connaissances (ex. la neutralité des points de vue dans Wikipédia).

[16] https://geco.ecophytopic.fr/

3.3. Des structures de connaissances génératives

Lors de la conception d'un objet, certains raisonnements de conception sont mobilisés pour favoriser la génération de solutions. Ainsi identifier les fonctions (*function requirement,* FR) que l'objet doit réaliser et les paramètres associés à ces fonctions (*design parameters*, DP), c'est-à-dire les composantes de l'objet permettant de réaliser les fonctions, est souvent utilisé en ingénierie (Ulrich, 1995). En conception réglée, la conception d'un produit est optimale lorsque une fonction est associée à un unique paramètre de conception (théorie axiomatique de Suh), ce qui permet d'éviter les combinaisons entre plusieurs fonctions et paramètres. Par exemple, le cyclone d'un aspirateur (DP1) permet de séparer l'air et la poussière (FR1), et son bac (DP2) de retenir la poussière (FR2) (Brun 2017). Si un problème se présente vis-à-vis de la rétention de la poussière, le bac est l'unique explication. Dans ce cas, on obtient une matrice diagonale qui associe une fonction à un paramètre indépendant (Tableau 2) : la matrice de Suh et le découplage DP/FR (Suh 2001). Ce découplage FR/DP créé un **déterminisme** entre une fonction et un paramètre. La **modularité** est également recherchée en ingénierie, « *elle permet en effet de réutiliser le même élément de conception (DP) afin de remplir la même fonction au sein de différents produits* » (Brun 2017). **Ainsi, en conception réglée, les liens déterministes et modulaires entre les connaissances sont recherchés.** A l'inverse, pour favoriser une exploration large, **la conception innovante privilégie des liens non-modulaires et non-déterministes entre les connaissances mobilisées dans la conception** (Hatchuel et al., 2011; Le Masson et al., 2016). Dans ces conditions, la base de connaissances est alors appelée « splitting » (Figure 13).

Dans la théorie C-K, la **générativité** est « *la capacité à créer de nouveaux objets possédant des propriétés souhaitées, différents de tout autre objet connu et ne pouvant pas être déduits à partir des connaissances actuelles* » (Perez, 2018). La générativité, lorsqu'elle caractérise un processus de conception, est définie par la capacité à faire émerger de nouveaux concepts ou de nouvelles connaissances (Hatchuel et al., 2011). Pour favoriser la générativité, il existe plusieurs stratégies : les stratégies « orientées concept », lorsque l'introduction d'une nouvelle connaissance génère un nouveau concept, et les stratégies « orientées connaissances » lorsque cette nouvelle connaissance modifie et réorganise l'espace des connaissances (et non l'espace C). Cette réorganisation de l'espace des connaissances (*K-reordering*) peut engendrer de nouveaux concepts (Le Masson et al., 2016). Des travaux récents ont analysé la capacité générative de dessins d'architectes, c'est-à-dire la capacité à faire émerger de nouvelles idées pour la conception innovante de bâtiments (Brun 2017). C'est en modélisant le raisonnement de conception avec des arbres C-K que des nouvelles associations de connaissances, grâce au dessin, ont pu être mises en évidence (suite à la réorganisation de l'espace des connaissances).

> *« La connaissance joue un rôle essentiel dans la performance de la conception: dans une conception réglée, le passage de la définition fonctionnelle d'un produit à son design détaillé nécessite en effet de pouvoir mobiliser facilement un grand nombre de connaissances. (...) En conception innovante, la place de cette nouvelle connaissance est d'autant plus importante que l'on cherche à revisiter l'identité des objets existants : en effet, l'exploration dans l'inconnu conduit non seulement à une expansion des propriétés des objets, mais également à une expansion de l'espace des connaissances maîtrisées par le concepteur. » (Brun 2017)*

Encadré 4. Théorie C-K

La théorie *Concept Knowledge* (théorie C-K) modélise le raisonnement de conception par **une double expansion** entre l'espace K des connaissances (K) et l'espace C des concepts (Hatchuel and Weil, 2009). A l'inverse d'un concept, une connaissance a un statut logique (elle est vraie ou fausse). Quatre mouvements sont identifiés (Figure 12) :

- de K vers C (disjonction) : le concepteur caractérise l'objet en cours de construction (le concept), il ajoute ou enlève des propriétés en intégrant des connaissances ;
- de C vers C (expansion des concepts) : le concepteur définit des concepts alternatifs à partir du concept initial également appelé le concept projecteur ;
- de C vers K (conjonction) : le concepteur mobilise des connaissances nouvelles associées aux nouveaux concepts ;
- de K vers K (expansion des connaissances) : le concepteur recherche des connaissances, ou évalue le concept en cours de construction.

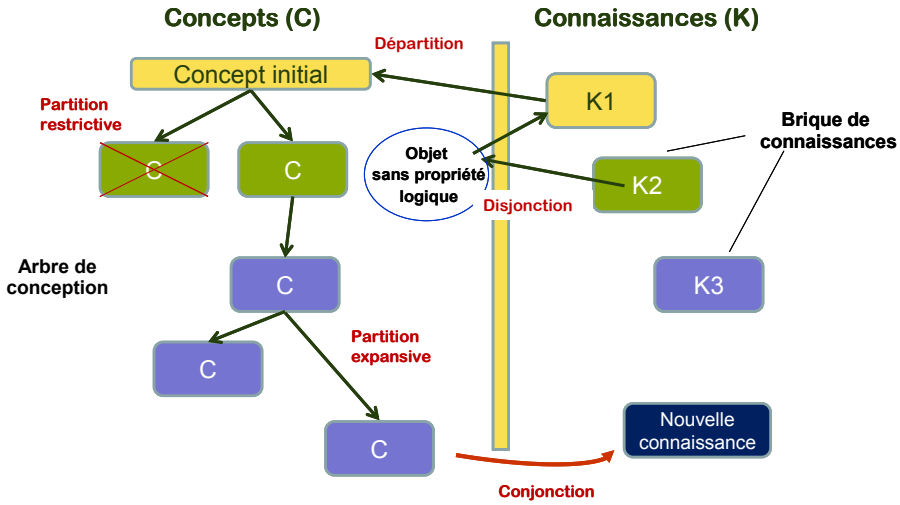


Figure 12. Les mouvements identifiés dans la théorie C-K

Cette théorie illustre les relations entre les connaissances et les concepts : l'introduction d'une nouvelle connaissance favorise l'émergence d'un nouveau concept, ou précise les propriétés d'une idée en cours d'exploration. La construction d'une solution passe par la recherche de connaissances et de solutions existantes. L'expansion des connaissances (mouvement K vers K) est alors une exploration. C'est le cas du raisonnement analogique (Visser 2009). Lorsque les connaissances n'existent pas au démarrage du processus, qu'il n'y a pas de solution « clé-en-main », elles sont élaborées au cours du processus : « l'expansion est alors bien plus qu'une exploration » (Hatchuel and Weil, 2002).

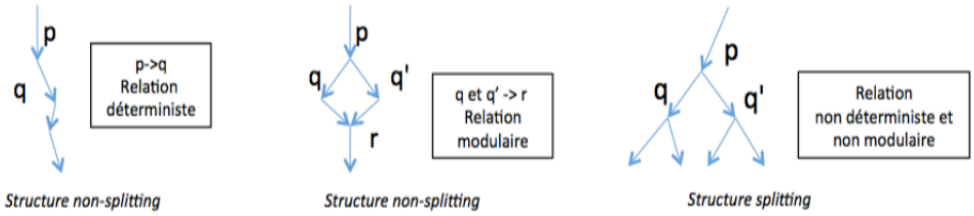


Figure 13. Les liens entre connaissances dans une structure « *splitting* » (Brun 2017)

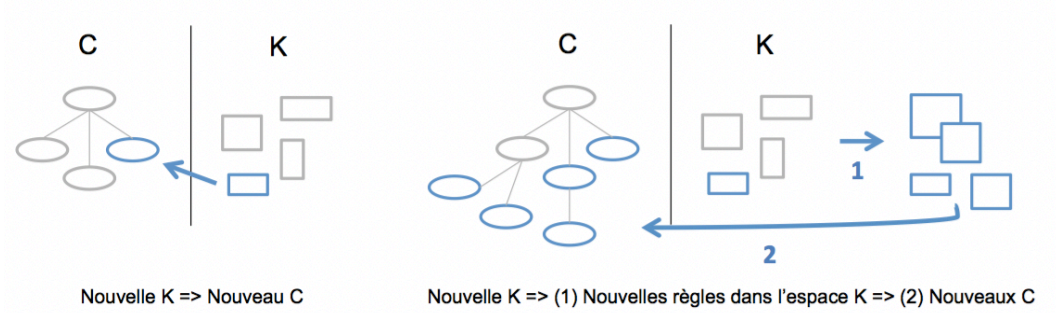


Figure 14. L'émergence d'un nouveau concept suite à la réorganisation de l'espace des connaissances (Brun 2017)

En agriculture conventionnelle, on obtient une matrice diagonale (Berthet 2014) : chaque fonction attendue du système agricole est associée à un paramètre de conception indépendant. Par exemple une des fonctions attendues du système est la gestion des adventives (FR), qui passe par l'usage des herbicides (DP). Ainsi, les techniques sont considérées de manière indépendante, les interactions entre les techniques sont réduites par l'usage de produits phytosanitaires, certains effets de l'environnement sont « maîtrisés » par l'artificialisation du milieu. Dans ce cas, on observe un déterminisme entre une fonction et un paramètre (Tableau 2). La question se pose des liens entre les fonctions et les paramètres en agroécologie.

Tableau 2. Cette figure est issue de la thèse d'Elsa Berthet (2014), et représente une matrice diagonale qui illustre les liens entre les fonctions attendues par un système agricole (FR pour *function requirement*) et les paramètres de conception associés, c'est-à-dire les composantes de ce système (DP pour *design parameter*).

DP \ FR	Nourrir les végétaux	Protéger des bioagresseurs	Lutter contre les adventices	Améliorer la structure du sol
Engrais chimique	X			
Pesticides		X		
Herbicides			X	
Labour				X

Conclusion de la section 3. Les connaissances pour concevoir des systèmes agroécologiques

La conception de systèmes agroécologiques repose sur la mobilisation de connaissances diverses, à la fois des connaissances scientifiques et des connaissances tacites des acteurs, dont les agriculteurs, issues de l'action. Des connaissances sur de nombreux objets agricoles nouveaux sont nécessaires pour stimuler la conception de systèmes agroécologiques (ex. les caractéristiques des bioagresseurs, un système de culture innovant ayant des propriétés intéressantes pour l'agroécologie).

La question de la formulation et la formalisation de ces connaissances, pour soutenir la conception de systèmes agroécologiques se pose. La littérature en sciences de gestion montre qu'une représentation des connaissances par des liens non-modulaires et non-déterministes favorise la générativité, c'est-à-dire l'exploration de nouvelles idées et de nouvelles connaissances, étape indispensable de la conception pour des innovations de rupture. Nécessaires à la transition agroécologique, de telles innovations de rupture sont attendues et leur conception par les praticiens requiert un accès large à des connaissances génératives et actionnables. La mobilisation de ce cadre d'analyse pourrait être intéressante pour produire des structures de connaissances utiles à l'exploration et à l'émergence de systèmes agroécologiques nouveaux (ex. des techniques, des combinaisons de techniques, des systèmes de culture). Nous nous interrogeons également sur les structures de connaissances favorables pour stimuler des raisonnements systémiques, pour permettre à d'autres acteurs de se saisir de certaines idées, techniques ou connaissances.

La question du partage de ces connaissances se pose également, dans la mesure où les nouveaux moyens de communication comme Internet (ex. forums agricoles, groupes Facebook) et l'usage très répandu du téléphone portable transforment la nature et l'activité des acteurs agricoles.

Ces connaissances sont détenues et produites par des acteurs dispersés dans les territoires. Il apparaît important de développer des dispositifs pour soutenir la capitalisation collective. L'outil GECO, ouvert à tous, propose des solutions pour renouveler la manière de capitaliser les connaissances en proposant aux acteurs agricoles de produire des ressources cognitive de manière collective et en ligne. Or nous partons du constat que l'outil est peu utilisé aujourd'hui. Nous disposons de peu de recul sur les motivations et les freins des utilisateurs de GECO, notamment vis-à-vis du dispositif de contribution.

4. Le développement d'outils avec les utilisateurs

4.1. L'implication des utilisateurs dans la conception de nouveaux outils

Lors de la conception d'un outil, des travaux en ergonomie démontrent l'intérêt d'impliquer les futurs utilisateurs dès le démarrage du processus de conception, dans la mesure ou la conception d'un outil « se poursuit dans l'usage » (Béguin, 2003). Ces travaux se différencient selon le degré d'implication des utilisateurs : les démarches participatives et les démarches « centrées utilisateur » (Darses, 2004). Pretty (1995) évoque la banalisation du terme « participation », dans le sens où une situation de conception (d'un outil) serait participative dès lors que l'utilisateur serait impliqué.

> *« **C'est seulement la modalité de prise de décision conjointe qui caractérise pleinement la conception participative**. Elle convie tous les acteurs concernés à examiner conjointement certaines décisions de conception et à produire ensemble des solutions alternatives. Les utilisateurs endossent officiellement le rôle de concepteur puisque leurs contributions sont reconnues et validées par l'entreprise comme des facteurs d'influence sur les choix de conception »* (Darses and Reuzeau, 2004).

Ainsi, dans une démarche participative, les utilisateurs, en tant que co-concepteurs, sont impliqués dans les choix de conception. Il s'agit de créer les conditions favorables à l'analyse collective (il ne suffit pas de réunir les co-concepteurs dans une même salle). A l'inverse, **une démarche « centrée utilisateur »** (*user-centered design*), ne fait pas « *systématiquement intervenir l'utilisateur comme un acteur à part entière du cycle de conception* » (Darses, 2004). L'utilisateur intervient généralement durant les phases d'évaluation, ses avis peuvent influencer les décisions des concepteurs mais « *l'utilisateur n'a pas le pouvoir d'en infléchir explicitement le cours* » (Darses, 2004).

4.1.1. Les méthodes mobilisées en agronomie

Dans le cadre d'une démarche de conception d'un nouvel objet (ex. un outil, une méthode) destiné à être mobilisé par une diversité d'acteurs agricoles dans une diversité de situations, il est utile de prendre en compte les usages de l'objet à développer (Cerf et al., 2012a). Ainsi, l'implication des futurs utilisateurs de l'outil à concevoir semble essentielle dès les premières étapes de construction (Cerf et Meynard, 2006). **Le diagnostic des usages et le test de prototypes** sont deux méthodes efficaces pour favoriser le dialogue entre les concepteurs et les utilisateurs, et ont été appliquées pour la conception d'outils d'aide à la décision (Cerf et al., 2012a ; Ravier et al., 2017).

Le diagnostic des usages, souvent réalisé en amont de la conception d'un outil, est une méthode utilisée pour analyser la manière dont les utilisateurs réalisent une activité spécifique (ex. décision, conception etc.). Le diagnostic repose sur l'analyse « *des problèmes que souhaitent traiter les acteurs, les fonctions qu'ils attendent des outils et des méthodes, et les modes opératoires liés à l'utilisation des outils ou des méthodes* » (Ravier, 2017). Il vise à comprendre ce qu'il manque aux utilisateurs pour réaliser une activité, c'est-à-dire pourquoi les outils actuellement utilisés ne sont parfois pas satisfaisants. Il permet également d'identifier les usages déviants de ces outils mobilisés dans le cadre d'une activité, c'est à dire des usages non prévus par les concepteurs initiaux de l'outil. Le diagnostic des usages fournit ainsi des informations utiles aux concepteurs pour créer un prototype d'outil, en invitant les utilisateurs à participer à la définition des besoins auquel il devra répondre. Ces prototypes sont ensuite testés auprès d'utilisateurs (non impliqués dans la démarche de création de ces prototypes), pour continuer d'adapter l'outil créé. L'objectif de ces tests est de vérifier « *la capacité de*

l'objet conçu à satisfaire le besoin identifiée et sa capacité à s'inscrire dans une diversité de situation d'usage, tout en appréhendant les évolutions des activités suscitées par son utilisation »[17].

Dans le cadre d'une **activité de conception**, effectuer un diagnostic des situations de conception permet d'analyser la diversité de ces situations c'est-à-dire les façons dont les acteurs s'y prennent pour concevoir, la diversité des problèmes de conception et la diversité des outils mobilisés pendant leurs activités. Cette analyse des situations existantes peut s'effectuer en situation ou hors situation (Visser, 2007). Une méthode consiste à observer les concepteurs en situation « naturelle », ce qui permet **d'analyser l'activité** réelle et l'utilisation effective des connaissances dans le processus de conception (Visser, 1990b). Une autre méthode est la réalisation d'entretiens semi-dirigés « hors situations » pour accéder aux buts des actions réalisées (pourquoi …?) et aux procédures mobilisées pour atteindre ces buts (comment …?). C'est une « rationalisation a posteriori par le concepteur de son activité » (Visser, 1990b), qui ne donne pas toujours accès aux informations réelles rencontrées en situation.

Conclusion de la Section 4. Le développement d'outils avec les utilisateurs

Des méthodes ont été développées en ergonomie, et mobilisées en agronomie, pour convier et faire participer, sous différentes formes, les utilisateurs potentiels d'un l'outil à sa conception. Les travaux que nous avons présentés dans la Section 4 nous apportent des éléments pour analyser l'activité de conception de systèmes agroécologiques, pour recueillir des données pertinentes sur les connaissances qu'un concepteur utilise dans son activité et les raisonnements qu'il mobilise. Ces méthodes permettent de questionner l'utilité et l'utilisabilité des outils en cours de construction, afin de soutenir les processus de conception de systèmes agroécologiques (les concepteurs eux-mêmes et l'animateur des ateliers de conception).

[17] Définition proposée par le réseau IDEAS, Initiative for design in agrifood system https://www6.inrae.fr/ideas-agrifood/Plateforme-d-appui/Nos-outils/Test-de-prototype

5. Problématique et démarche générale

Favoriser la transition agroécologique suppose de modifier en profondeur les systèmes agricoles actuels en s'appuyant sur des processus de conception adaptés à chaque situation contrastée. Dans la première partie de l'état de l'art (Section 1), nous avons montré que les systèmes agricoles qui reposent sur les principes de l'agroécologie sont des systèmes complexes à inventer, à la fois en rupture par rapport aux systèmes dominants actuels, mais qui, le plus souvent, sont conçus et mis en œuvre progressivement. Ils valorisent les relations entre des organismes « vivants », caractérisées par une forte instabilité, afin de favoriser l'expression de fonctions et de régulations biologiques. Le développement de systèmes agroécologiques est favorisé par la mise en place de processus de conception innovante (Section 2).

D'un point de vue général, la conception consiste à créer un nouvel objet. En agroécologie, nous avons montré que les processus de conception de systèmes agroécologiques sont alimentés par des connaissances diverses, à la fois scientifiques et empiriques, qui peuvent être détenues par des acteurs dispersés sur le territoire ou dans différents organismes (Section 3). Ces processus de conception mobilisent de plus en plus souvent les connaissances des acteurs, dont celles produites à partir d'innovations conçues et mises en œuvre par des agriculteurs, interrogeant ainsi les modes classiques de production et de circulation des connaissances. Pour faciliter le partage de connaissances et d'expériences, et explorer des solutions nouvelles, adaptées au contexte de l'action envisagée, les situations de co-conception de systèmes agroécologiques se multiplient. Elles favorisent la génération de solutions inédites, qui font appel à des réutilisations de connaissances et de solutions développées préalablement par les co-concepteurs (ex. agriculteurs, conseillers agricoles, chercheurs).

Par ailleurs, des acteurs de la R&D agricole capitalisent des connaissances sur des systèmes agroécologiques, qui restent rares, notamment des connaissances produites dans l'action. Ils produisent ainsi des ressources cognitives particulières, issues d'activités de conception (Section 3).

Nous avons également fait le constat que de nombreux outils en ligne sont développés pour diffuser largement des connaissances et des ressources cognitives sur les systèmes agroécologiques, et que les acteurs agricoles échangent de plus en plus souvent dans des espaces de discussion en ligne ou sur des applications mobiles (Section 3). Face à la faible dynamique de transformation des systèmes agricoles actuels, ce constat interroge l'utilité et l'utilisation des ressources cognitives produites par la R&D agricole, pour favoriser la génération de solutions agroécologiques. Des travaux en ergonomie sur la conception d'outils soulignent l'importance de convier leurs utilisateurs potentiels dans le processus de conception (Section 4), pour adapter les outils aux caractéristiques des activités des utilisateurs, y compris celles qu'ils n'arrivent pas à réaliser avec les outils disponibles.

Sur la base de ces constats, notre travail vise donc à répondre à la question de recherche suivante : **Comment soutenir la capitalisation et le partage de connaissances pour favoriser le changement de pratiques vers l'agroécologie ?**

Le cas d'étude de la thèse est l'outil GECO, issu du prototype AgroPeps, qui a été développé dans l'objectif de partager les connaissances sur les systèmes agroécologiques dans des ressources cognitives. Ces ressources reposent sur une capitalisation collective des connaissances détenues par une diversité d'acteurs, dans une plateforme en ligne, ouverte à tous (contributeurs et concepteurs).

Nous proposons une démarche centrée utilisateur en trois temps (Figure 15).

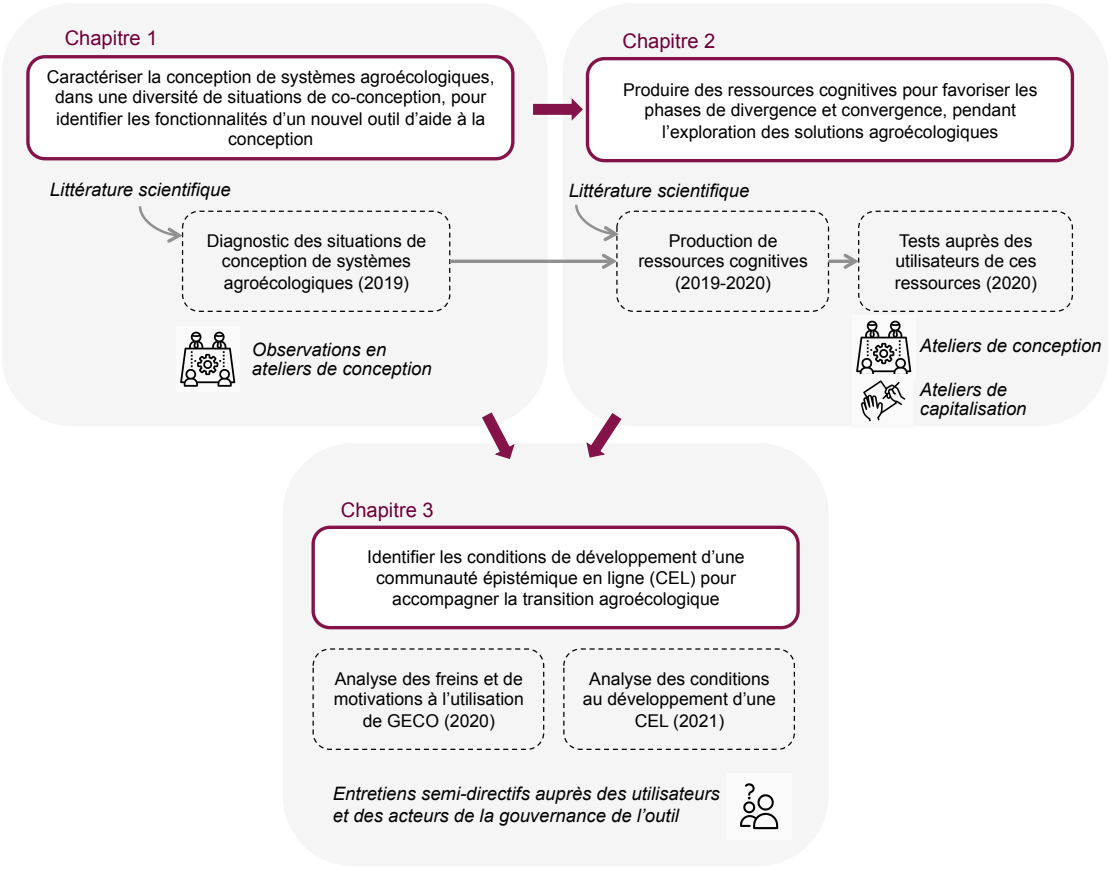


Figure 15. Plan de thèse et articulation entre les trois chapitres

- ***Chapitre 1.***

La conception consiste à créer un nouvel objet, adapté à une situation locale, et qui permettra de répondre aux objectifs ambitieux assignés de la situation. La variabilité des contextes pédoclimatiques et socio-économiques induisant une diversité d'objectifs possibles et de solutions mobilisables, l'immense panel de connaissances mobilisables dans ce but, et la difficulté à choisir celles qui, dans une situation donnée, seront le plus à même d'atteindre les objectifs visés, rendent chaque démarche de conception complexe à mettre en œuvre. Ces éléments interrogent les stratégies mobilisées par les concepteurs pour générer des solutions en rupture, singulières et localisées, et les caractéristiques d'outils qui pourraient soutenir ce processus de conception. Dans le 1er chapitre des résultats, nous allons explorer la question suivante :

Q1 - Comment caractériser la conception de systèmes agroécologiques, dans une diversité de situations de co-conception, pour identifier les fonctionnalités d'un nouvel outil d'aide à la conception ?

Dans ce premier chapitre, nous avons réalisé un diagnostic des situations de conception, à travers une analyse d'une diversité de situations de conception. Nous i) décrivons les situations choisies à partir de critères identifiés en ergonomie cognitive (la cible de conception, l'objet agronomique à concevoir, les concepteurs mobilisés et les ressources mobilisées pour soutenir le processus), et ii) nous déterminons les raisonnements mobilisés par les concepteurs, dans les différentes étapes d'un processus de conception (décrites dans la Section 2.2), et la manière dont ces raisonnements s'appuient sur des connaissances. Nous montrons les rôles de l'animateur pour soutenir l'exploration favorable à la génération de solutions agroécologiques.

- ***Chapitre 2.***

Des travaux en sciences de gestion montrent que la générativité, définie comme la capacité à créer de nouveaux objets différents de tout autre objet connu, est favorisée par des connaissances et des structures de connaissances spécifiques. Ces éléments interrogent l'application de ces travaux en agronomie, et l'organisation des connaissances dans des ressources cognitives pour favoriser la génération de solutions agroécologiques nouvelles et la préparation de la mise en œuvre. En particulier, alors que les solutions déjà existantes sont souvent mobilisées dans des processus de conception, nous analysons comment dépasser le risque de fixation qu'elles engendrent. De plus, des travaux en ergonomie sur la conception d'outils soulignent l'importance de convier les utilisateurs potentiels dans le processus de conception de cet outil. Ainsi, dans le 2nd chapitre des résultats, nous allons explorer la question suivante :

Q2 - Comment favoriser les phases de divergence et convergence, pendant l'exploration des solutions agroécologiques, par la production de ressources cognitives spécifiques ?

En nous appuyant sur l'analyse effectuée dans le Chapitre 1, et en nous situant dans le cadre d'un outil de partage de connaissances en ligne, ouvert à tous, nous avons construit des formats standardisés de ressources cognitives visant à soutenir les concepteurs de systèmes agroécologiques, et l'animateur de processus de conception, dans l'exploration et la préparation de l'implémentation de solutions. Ces ressources ont ensuite été testées, afin d'être améliorées, auprès d'acteurs agricoles : des concepteurs de systèmes agroécologiques, en tant qu'utilisateurs potentiels de ces ressources (atelier de conception), et des contributeurs, produisant des connaissances susceptibles d'être formalisées dans ces ressources (atelier de capitalisation).

- ***Chapitre 3.***

L'outil GECO a été développé dans l'objectif de soutenir, dans une plateforme en ligne, la capitalisation collective des connaissances scientifiques et empiriques, détenues par des acteurs agricoles dispersés sur le territoire et dans différents organismes. Nous partons du constat que, bien que conçu initialement par ses futurs utilisateurs, l'outil est peu utilisé aujourd'hui. Notre objectif est de mieux comprendre les freins actuels et les conditions favorables au développement et au maintien dans le temps de la communauté des contributeurs de l'outil, producteurs de ressources cognitives. Nous nous appuyons sur les travaux en ergonomie cognitive qui étudient les caractéristiques des communautés épistémiques en ligne, chargées de la production collaborative de nouvelles connaissances partagées. Dans le 3ème chapitre des résultats, notre question de recherche est la suivante :

Q3 – Quelles sont les conditions pour développer une communauté épistémique en ligne visant à accompagner la transition agroécologique ?

Dans ce dernier chapitre, nous analysons les freins et les motivations des utilisateurs de l'outil GECO, à partir d'entretiens semi-directifs auprès d'utilisateurs réels et potentiels. Nous nous sommes également intéressés aux points de vue des acteurs impliqués dans la gouvernance et l'animation de l'outil. Notre objectif est d'identifier des pistes pour favoriser le développement et la gouvernance d'une communauté épistémique en ligne pour accompagner la transition agroécologique.

Les chapitres 1 et 2 sont présentés sous la forme d'articles scientifiques (en révision après demande de modifications, respectivement dans les revues *Agronomy for Sustainable Development*, et *Agricultural Systems*). Le Chapitre 3 est rédigé en français.

Chapitre 1 : Caractériser la conception de systèmes agroécologiques, dans une diversité de situation de co-conception, pour identifier les fonctionnalités d'un nouvel outil d'aide à la conception

Dans ce premier Chapitre 1, nous avons effectué **un diagnostic des situations de conception** de systèmes agroécologiques pour analyser la manière effective dont les concepteurs mobilisent des connaissances pour élaborer un nouvel objet : une pratique élémentaire, un itinéraire technique, un système de culture (pas une rationalisation à posteriori par le concepteur de son activité). Pour cela, nous avons réalisé ce diagnostic par des observations de l'activité de conception (Figure 16), en situations « naturelles » (hiver 2018 – printemps 2019). Nous avons caractérisé la diversité des situations observées (n = 6), durant des ateliers de co-conception de systèmes agroécologiques (ex. objectif à atteindre, expertise des concepteurs, outils mobilisés). Nous avons ensuite identifié les stratégies mobilisées par les concepteurs et les connaissances mobilisées, durant les différentes étapes du processus de conception décrite dans la littérature en ergonomie cognitive.

Nous avons choisi de ne pas effectuer de diagnostic des usages de l'outil GECO dans sa version disponible en début de thèse. En effet, l'outil était très peu utilisé spontanément, sa forme n'était pas attractive, le contenu de GECO n'était pas stabilisé, et l'outil était en permanence en cours d'amélioration (ex. projet FORCOCO sur la formalisation des connaissances autour des bioagresseurs et des auxiliaires, projet DECI-LEG autour de l'intégration des règles de décision dans GECO, l'intégration des fiches DEPHY trajectoire, etc.).

Ce chapitre est rédigé sous la forme d'un article scientifique dans la revue « Agronomy for Sustainable Development » (version soumise en Novembre 2020 ; en révision après demande de modifications).

Figure 16. Atelier de conception visant à construire des itinéraires techniques du colza en agriculture biologique (coll. GAB Ile-de-France)

Cet article est en cours de révision après demande de modifications

Analyzing co-design of agroecological cropping systems to define specifications for design-support tools

Maude Quinio*[a], Marie-Hélène Jeuffroy[a], Laurence Guichard[a], Paola Salazar[a], Françoise Détienne[b]

[a]Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR Agronomie, 78850, Thiverval-Grignon, France

[b]I3-SES, CNRS, Telecom Paris, Institut Polytechnique de Paris, Palaiseau, France

*corresponding author, Bâtiment Eger, Avenue Lucien Bretignières, 78850 Thiverval-Grignon, France, maude.quinio@inrae.fr

Abstract

Innovative and locally-adapted cropping systems, addressing in-depth challenges, need to be designed to support agroecological transition. This is however far from being an easy task since such design activity requires a large amount of knowledge, most of it being distributed amongst numerous stakeholders and rarely available. Since the 2000s, research on design in agriculture has aimed at providing participatory methods to support on-farm design of new systems, but few studies have focused on the elaboration of design-support tools. In the view to define specifications of such tools, ergonomists proposed to analyze the activity of their future users in real work situations. We therefore implemented a diagnosis of use situations through observations of real collective design activities. To this end, we took part in six design workshops, which differed in terms of the goal and the designers participating (e.g. farmers, advisors, students, or scientists). We first identified the diversity of features of these design situations. We then analyzed three processes across the design workshops: i) the reformulation of the design goal, ii) the large exploration of candidate solutions, and iii) the local adaptation of these solutions while anticipating the on-field implementation. Here we show, for the first time, the type of reasoning and knowledge that designers and facilitators displayed and used along the design processes. We finally derived and discussed the specifications that design tools should have to support co-designers and facilitators in their design process, by promoting several types of design reasoning, sharing knowledge and experience, and allowing the development of external representations of the object under design. Our results provide an operational framework for the elaboration of new design-support tools.

Keywords: use situations, design process, design workshop, agroecology, external representations, knowledge, reasoning

1. Introduction

To address the numerous and ambitious challenges that agriculture is facing, and thus to fuel agroecological transition, cropping systems (CS) need to be changed profoundly, thus requiring disruptive innovations. This calls for a design process that should take into account the local adaptation of cropping systems to climate, soil, and socio-economical conditions, and require knowledge, both scientific in the field of agroecology and based on lay expertise. Innovative design toward agroecology should be supported and enhanced by specific methods (several being already developed) and tools (more scarce). Our objective was to define specifications for such tools, based on the analysis of design activities during co-design workshops.

Some studies have investigated the features of agroecological cropping systems. Respecting the key principles of agroecology (Altieri, 2002), such CS are less dependent on external synthetic inputs, and should rely on ecological and natural processes, such as nutrient cycling and biological pest regulation. They are also site-specific because (a) they target a set of objectives, which vary from case to case, depending on the means and values of the farmer, and (b) they are designed to fit the constraints and opportunities of local situations in terms of climate, soil, landscape, environmental susceptibilities, and socio-economic conditions, being highly variable and unpredictable (L. Prost et al., 2017). A characterization of these local conditions is needed to design the new techniques: for instance, to establish and restore biological regulations and their resilience to natural hazards. Due to these characteristics, agroecological CS rely on the interactions both between techniques and the environment, and among techniques, and their redesign thus requires a systemic approach (Meynard et al., 2012; Toffolini et al., 2017). Indeed, the effects of implemented practices are heavily dependent on environmental and climate-related factors, resulting in hardly predictable consequences in the soil-crop system (L. Prost et al., 2017). Yet, even if these features are common to agroecology-oriented cropping systems, they cannot easily be designed. This local adaptation of practices hampers the direct dissemination of alternatives among farmers, thus requiring a huge design effort everywhere in agriculture (Meynard et al., 2012). In view of these features, innovative cropping systems can thus be defined as desirable unknown objects to be designed.

Recent research studies provided advances on design in agriculture, especially on the use of knowledge in design processes. Based on design theories, design processes, consisting and resulting in the generation of new solutions to solve a problem or reach a new goal, are largely fed with various types of knowledge (Hatchuel and Weil, 2009; Visser, 2006). Moreover, the design of agroecological cropping systems requires heterogeneous forms of knowledge, including both experience-based and science-based knowledge (Coolsaet, 2016; Girard and Magda, 2020; L. Prost et al., 2017). Some authors recognize the value of lay expertise - also called traditional, expert, situated, empirical knowledge - as a way to fill in some of the gaps in the scientific knowledge, and to describe local processes within the agrosystems, and thus to feed design (e.g. knowledge on biological regulations acquired through farmers' observation). The hybridization of scientific and farmers' knowledge allows both for the decontextualization of local knowledge toward generic formulation, and for the application and adaptation of generic knowledge to new local situations (Girard and Magda, 2020; Toffolini et al., 2017). Moreover, in step-by-step design processes (Meynard et al., 2012), designers also produce knowledge through and in the action itself (Prost et al., 2018). Schön (1983) described design as the interaction between an agent's action and the situation in which he/she acts, allowing the emergence of new knowledge and ideas. For example, while implementing a new practice, farmers use, and even sometimes produce, operational indicators to adjust the object under design, and adapt its management to the uncertainty of the environmental conditions (Toffolini et al., 2016b). This large

amount of knowledge, useful to design new practices respecting agroecological principles, is distributed among numerous actors (Girard and Magda, 2020), and sharing this knowledge in a distributed Agricultural Knowledge and Information System in a condition to increase the overall capacity of design in agriculture (Klerkx et al., 2012a), to enhance design. Moreover, as cropping systems have largely relied on external inputs in the past few decades, there is still much to be learned about biological processes (Caron et al., 2014). For instance, knowledge on biological regulation of pest populations is needed to design CS that are less dependent on pesticides, yet this knowledge is still scarce. It thus seems necessary to enhance access to knowledge and its sharing amongst stakeholders, and to favor the hybridization between experience-based and science-based knowledge, in order to feed design processes that support agroecological transition.

In the last decades, design-support oriented methods have been developed to support collaborative design between stakeholders, including farmers (Le Gal et al., 2011; Meynard et al., 2012). Indeed, in the agroecological transition, farmers do indeed become designers of their own system, whereas they were formerly mostly technology adopters (Klerkx et al., 2012a; Lacombe et al., 2018; Salembier et al., 2018). For example, design workshops were proposed to bring together farmers and other designers (such as advisors and researchers), to share knowledge and ultimately to support the co-design of cropping systems with ambitious new aims (Berthet et al., 2016; Bos et al., 2009). Some studies have explored the use of tools (e.g. models, decision-support systems, serious games, sketches) as boundary objects to support design processes (Brun et al., 2016; Klerkx et al., 2012b). In cognitive ergonomics, the role of external representations have been identified as specific boundary objects supporting the construction of shared representations amongst designers, thus supporting stakeholders' establishment of common ground (Détienne, 2006; Safin et al., 2012; Visser, 2006). In agronomy, available tools are either specific to one design situation (e.g. catchment area in Prost et al. (2018)), or focus on the design of one type of object (e.g. livestock systems in Martin et al. (2018)); they rarely aim at sharing a large amount of knowledge on a diversity of agricultural systems and covering various subjects (e.g. reduction of pesticide use, N autonomy, biological regulation, soil fertility, etc.). Moreover, decision-support tools have largely been developed to guide farmers to take more effective decisions, for instance to select of one solution amongst already existing ones. There is thus a real challenge to develop new tools to support the design of agroecological CS in contrasting situations, that draw on the knowledge distributed among numerous stakeholders, and support the invention of disruptive solutions rather than the selection among already known alternatives.

To design a new tool, the involvement of users throughout the process helps to define its features in response to the diversity of users' activities in the various situations in which the new tool will help to do what it is intended to (Béguin, 2003). To do so, a diagnosis of use situations has been proposed by Cerf et al. (2012a), and was used in several studies to involve the users in defining the specifications of the objects to be designed (Cerf et al., 2012a; Ravier et al., 2018). Diagnosis is a way for the designers of a tool to learn from the work situation and from the users' activities, and to match both the features and the affordances of the objects they are designing to their future uses (Béguin, 2003; Ditzler et al., 2018).

In the study reported here, we aimed at analysing the features of co-design processes of agroecological cropping systems, in several design situations, in order to identify the specifications that new design-support tools should fulfill to guide and support designers. To do so, we performed a diagnosis of use situations by observing several design workshops and analysing the commonalities and differences amongst design processes. More precisely, we examined which and how knowledge was shared between stakeholders to collectively generate alternative solutions. Finally, we discussed our main findings and proposed a range of specifications for new design-support tools.

2. Materials and methods

2.1. Theoretical background

Design problems are commonly considered as "ill-structured" problems (Simon, 1973). The requirements given at the start of the process are never complete or unambiguous: initial problem specifications are not sufficient to precisely define the goal, and a progressive definition of new constraints is necessary (Darses et al., 2004b), thus resulting in the co-evolution of the problem and the solution(s) (Dorst and Cross, 2001). Progressive emergence of the properties of the object under design, together with the progressive refinement of the target, allow to build the solution, that is, the identity of the object under design (Hatchuel and Weil, 2009). The design activity involves three main cognitive processes (Darses et al., 2004b; Visser, 2009b): redefinition of the design problem (hereafter design goal), generation of solutions, and evaluation of solutions. These processes are not sequentially organized but are largely interdependent. As design problems are often large and complex, as in the case of agroecological transition, they often require the articulation of multiple skills, which fosters collaboration between co-designers from various disciplines or professions (Détienne, 2006). In co-design activities, design partners (hereafter designers) collaborate by sharing knowledge, elaborating a joint representation of the design goal solution(s) (Détienne, 2006). These co-design situations can be characterized by (i) the description of the design process in itself, (ii) the characteristics of designers (disciplines, expertise) and (iii) the object being designed, also referred to in the literature as an artifact (Visser, 2009b).

2.2. General method and description of case studies

We implemented a diagnosis of uses, in order to describe a diversity of (i) co-design situations, and (ii) co-design processes in these diverse situations, and then to identify the needs that designers encounter in their work and in pursuing their objectives (Cerf et al., 2012a). This diagnosis was achieved from in situ observations of collective design workshops in order to study designers' real activity (Visser, 1990b). We took part in six case studies in France, in which agroecological cropping systems were co-designed. As proposed by Berthet et al. (2016), each design workshop was composed of different steps: (i) the definition of the design goal (also referred as design target in the literature), (ii) a step which aims at sharing knowledge chosen to be a first common basis among participants, serving to foster the subsequent exploration process, (iii) an exploration phase resulting on the identification of disruptive techniques, without considering their link with the precise context, and (iv) the construction of solutions (here cropping systems), through their refinement to build a consistent system tailored to the context. In every workshop, a facilitator prepared the overall organization and managed the interactions among participants during the design process.

The data collection took place between December 2018 and March 2019. Our six case studies (Tableau 3) differed in terms of the goal, the designers participating (e.g. farmers, advisors, and/or students, and/or scientists, and/or the leader of a system experiment), the objects to be designed (cropping system or crop management plan), and the type of agricultural system (organic or conventional). Three workshops were attended by groups of farmers and advisors to design organic cropping systems for controlling perennial weeds such as thistle (D1). Another 1-day workshop was organized by a local Chamber of Agriculture, with farmers to design conventional CS able to reduce water pollution in a catchment area (D2). Workshop in D3 brought together farmers, advisors and scientists to co-design organic crop management of rapeseed for two farmers of the group. In D4, farmers designed conventional CS without glyphosate (a herbicide widely used in France that will be

banned within three years), using the board game Mission Ecophyt'Eau (Marguerye et al., 2018). And finally, students from agricultural secondary school designed a resilient CS in a catchment area for a farmer who wanted to reduce tillage (D5), or built a cropping system fostering a mycorrhizal network (D6), as it provides ecosystem services enhancing crop health and productivity, based on the MYMYX approach (Chave et al., 2019). Discussions were recorded and transcribed, when authorized (from D1 to D4).

2.3. Data analysis

First, we characterized co-design situations. Since all cases occurred in design workshops (characterized by a short term collective design activity), we described these design situations, with four criteria, based on the definition in cognitive ergonomics (Visser, 2009b): i) the diversity and features of the design goals; ii) the features of the designed objects ; iii) the diversity of designers and their expertise in the domain concerning the workshop (their knowledge and experience on the subject), and the roles of the facilitators; and iv) the tools used to support the process during the workshops, and their uses (Figure 17). Second, we analysed the commonalities and differences amongst processes occurring during design workshops, which are not sequentially organized but are largely interdependent: the reformulation of the design goal, the exploration of solutions, and the local adaptation of solutions for the preparation of their implementation (Figure 17). We could not observe the whole design process, including the implementation phase, which is known to also feed the design process (Schön, 1983), because implementation is generally performed in the field over a long period of time.

We chose to adopt an inductive analysis to understand how designers generate solutions during the workshops and how they anticipate the implementation of these solutions. To do so, we conducted a cross-analysis of the case studies, which aimed at describing the reasoning adopted by designers to explore a diversity of new solutions aimed at building an agricultural disruptive system, able to reach the ambitious goal defined at the beginning. In particular, we identified the types of knowledge that had been shared during interactions, and how each type was used to progressively shape the artifact. We then observed the way designers used existing tools or other resources, either human or material, and how they fitted these tools into their design process to manage their cognitive and organizational activities. Finally, based on the literature and on our cross-analysis of case studies, we were able to define specifications for tools to be developed to support the design of agroecological CS.

Tableau 3. Characteristics of the six design workshops used as case studies

	Design goal to be reached	**Designers (facilitators are not included)**	**Location and institution**	**Time scale of data collection**	**Designed object and level of implementation targeted**
D1	Manage perennial weeds without herbicide (three workshops)	Farmers and advisors, between 5 and 7 depending on the workshop	Hauts-de-France – Agro-Transfert RT	One half-day meeting (three times)	Organic cropping systems, with implementation
D2	Reduce water pollution in a catchment	20 farmers	Normandy - local Chamber of Agriculture	One day meeting	Conventional cropping systems, without implementation
D3	Manage rapeseed without insecticides	5 farmers, 2 advisors, 1 researcher and 1 pilot experiment	Ile-de-France – INRAE and a local association of organic farmers	One day meeting	Crop management plans of rapeseed, with implementation
D4	Manage a glyphosate-free cropping system (herbicide)	12 farmers and 2 advisors	Britanny – local Chamber of Agriculture	One day meeting	Conventional cropping systems, without implementation
D5	Be resilient without tillage in a catchment area	16 students, secondary school	Normandy	One half-day meeting	Conventional no-till cropping systems, with implementation
D6	Develop mycorrhizal networks in arable cropping systems	16 students, secondary school	Normandy	One half-day meeting	Mycorrhizal network within an arable cropping system, without implementation

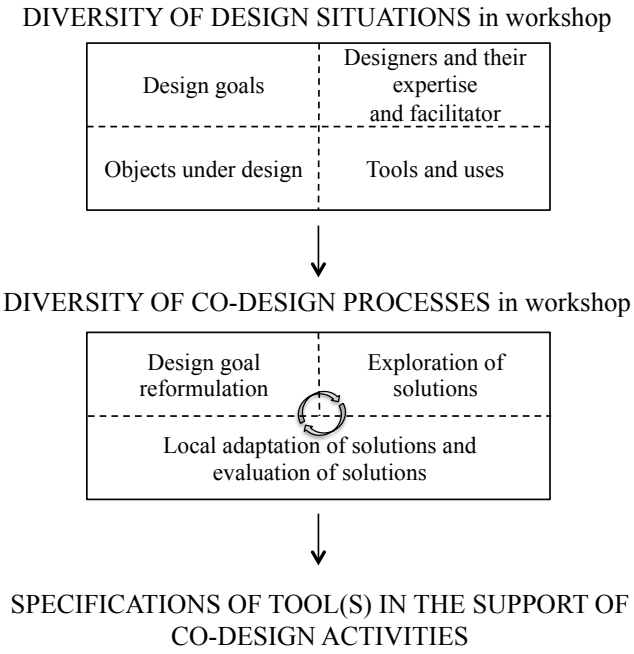


Figure 17. Conceptual framework to identify the specifications of tool(s) in the support of co-design activities, based on characterization of both the design situations (in design workshop) and three interdependent processes: the design goal reformulation, the exploration of solutions and the local adaptation of solutions.

3. Results

3.1. Features of co-design situations

3.1.1. Co-design situations differed in design goals, designers and designed objects

All design situations differed in terms of the design goals to be reached (Table 3). They were either specific, concerning one element of the CS (e.g. manage one specific pest in D1), or much broader, related to production factors (e.g. reduce the use of pesticides in D3; cease the use of glyphosate in D4). They were sometimes directly linked to performance targeted, with the indicator being defined (e.g. CS to reach a minimum amount of nitrate leaching during autumn in D2).

Regarding the objects to be designed (Table 1), they first varied in time scale (e.g. crop management over one crop cycle in D3, or CSs over several years in D1). Moreover, their level of implementation differed from case to case. On one hand, the CSs were intended to be implemented in one particular farmer's field (situated CS in D1, D3 and D5). On the other hand, they had to be relevant for a large range of conditions in the area (generic CSs designed in D2, D4 and D6). The designed cropping systems were either organic or conventional, and concerned various regions in France.

The designers' jobs and their level of expertise related to the design goal differed between and within the groups of designers. Apart from the facilitator(s), the groups were composed of farmers only (D2), farmers and advisors (D1, D4), farmers, advisors, managers of system experiments and scientists (D3), or only students (D5, D6) (Table 1). Sometimes, the facilitators were also involved in the design process (D1, D3, D4). The level of expertise, related to the design goal, that designers had before attending the workshop was highly different, either novice or expert in the domain concerned by the workshop. As an example, in D1, before the workshop, farmers had acquired relevant science-knowledge on the biology of perennial weeds (e.g. dynamics of root reserves of perennial weeds explained by a specialist in weed biology), through previous specific meetings dedicated to knowledge sharing. They had also learnt from their experience through own observations in their fields (e.g. rapid regrowth of thistle after plough stubble). By contrast, in D6, students had little if any knowledge on mycorrhiza at the beginning of the design process. Finally, concerning the design process, only a few farmers and advisors had expertise (D1 to D4), and were spontaneously inclined to explore outside their usual practices during the workshop (they had already participated in workshops in the past or in design training courses).

3.1.2. The diversity of uses of existing tools during the design workshop

In these various co-design situations, both designers and facilitators sometimes used tools during the design process, in diverse aims: to share representations, to visualize and manipulate the intermediate solutions, to share knowledge and to manage the organization of the workshop. First, we noticed that, in all cases, designers used tools to share a common visual representation of the solution being designed, and they mobilized game objects (e.g. cards, board, etc.) to visualize and manipulate the complex object under design. For instance, in D6, students used a board game to establish and maintain a mycorrhizal network over one crop cycle: to do so, they manipulated sticks representing mycorrhizal filaments, and used cards describing practices influencing the mycorrhizal network (Figure 18a – MYMYX game). To obtain the maximum amount of filaments, they had to select appropriate practices favoring the establishment of a mycorrhizal network (each practice card is associated with a specific number of filaments). Another example, in D4, is the board game used by farmers to build alternative crop rotations to manage weeds by combining several cards (Figure 18b – Mission Ecophyt'Eau). Farmers could easily visualize the CS under design, using and organizing, on

the game board, both crop cards and practice cards (e.g. introduction of a new crop, use of mechanical weeding). Along the design process, farmers successively selected one card (or drew a new card) while debating a new idea, to improve the coherency of the proposal CS, and then the group approved (or rejected) the solutions identified.

Other types of tools were used to enhance knowledge sharing between designers of the workshops (D6, D3, D4). For instance, in D6, facilitators mobilized the quiz developed in the MYMYX game to discuss and learn about the impact of farming practices on the mycorrhizal network, in order to equip students with new knowledge, required to design a cropping system fostering mycorrhizal networks. Moreover, several steps of the workshop also provided opportunities for knowledge sharing, through either (i) the presentation, by an expert, of the biological cycle of main insect pests in oilseed rape (D3), or (ii) the oral presentation of a testimony by an experienced farmer (D3), or an experienced and successful agroecological system by the facilitator in a structured written form (D3, D4). These testimonies generally involved both the description of alternative techniques and the interpretation of their effect on the targeted results.

Finally, facilitators sometimes relied on tools to manage the global organization of the workshop. For instance, in D6, teachers followed the procedural plan provided in the MYMYX approach to guide students in the successive steps of their design activities, to first acquire and then apply knowledge on mycorrhiza (using a quiz performed before the design phase). To conclude, we witnessed diverse uses of tools: some tools fulfilled a broad range of functions (e.g. MYMYX framework), or were specifically useful to facilitators, or were used by the designers in various ways (e.g. crop card to share knowledge and/or build the crop rotation).

Figure 18. Use of design-support tools to visualize the object under design. Establishment of mycorrhizal network between the plant roots (at the four corners) on a board game, in order to reach the nutritive resources (colored pieces), using sticks representing mycorrhizal filaments (in white) and cards describing practices influencing the mycorrhizal network (case D6, Fig. 18a). Design of a conventional CS without glyphosate using the board game Mission Ecophyt'Eau, crop cards and practice cards (case D4, Fig. 18b).

3.2. Features of the design process during co-design workshop

3.2.1. Designers and facilitators reformulated the design goal whether it was specific or broad

We observed how designers shared the design goal, initially defined by the facilitator, and how it was refined and reformulated to become a common desired goal among participants of the workshops, whether it was specific or broad. We identified two strategies: the decomposition of the design goal, and the formulation of constraints (Table 4). In D1, the initial design goal was to manage perennial weeds in organic systems (specific goal) – a common issue shared by the farmers attending the workshops – and the object under design was intended to be implemented in the fields of one of the participating farmers. Along the design process, the farmer himself redefined the goal to specify the characteristics of his own situation. For instance, as he wished to control thistle in one of his fields, after two years of alfalfa, he gave some details about this situation (e.g. soil type, available equipment) which were then used so that the proposed solutions were consistent with this situation.

In other case studies, the design goal was much broader. In D2 for example, farmers had to build CS allowing to reduce water pollution at the scale of a catchment area. In this case, facilitators (here advisors) set the main objective and then defined two sub-objectives to improve water quality (Tableau 4). They formulated these sub-goals with indicators related to expected performances of the CS (goal decomposition), in terms of nitrate and pesticide concentrations in the water (e.g. maximum level of nitrate leaching in autumn to achieve nitrate concentration below the legal threshold of 50mg/l, and maximum pesticide application to reach pesticide concentration below 0,075 ug/l). The reformulation of design goals occurred in every situation, so that it became a common step for all designers (Tableau 4). In some workshops, the refinement of the design goal could be visualized through external representations. For instance, facilitators identified sub-goals using a board, in order to share it with the entire group (D2).

Another strategy used by the facilitators to reformulate the design goal, and help co-designers to think outside the box, was to remove some constraints. For instance, in D2, facilitators asked farmers to design a system thinking 10 years ahead, in order to delete current socio-economic conditions unfavorable to the selection of some alternative practices. For example, this allowed farmers to discuss the advantage of introducing hemp in their CS, even if there was not yet a local market for it.

Tableau 4. Features of the design goals and strategies for their reformulation

	Design goals to be reached	Features of the design goal	Strategies to reformulate design goals
D1	Manage perennial weeds without herbicide	Specific goal	One farmer, attending the workshop, described the local context, its constraints and opportunities: control thistle in one of his fields, after two years of alfalfa, in a no-till system
D2	Reduce water pollution in a catchment	Broad goal with territorial issue	The facilitator removed constraints and ask farmers to design a system thinking 10 years ahead, and also identified sub-goals by formulating indicators: reach i) nitrate concentration below the legal threshold of 50 mg/l and ii) pesticide concentration below 0,075 ug/l
D3	Manage rapeseed without insecticides	Specific goal focusing on management of one crop	One farmer refined the design goal by specifying local context, its constraints and opportunities: he added a personal objective, his target yield: produce a minimum of 10 quintals in order to produce its own oil
D4	Manage a glyphosate-free cropping system (herbicide)	Broad goal with strong constraints from national issue	- The facilitator identified complementary sub-goals: i) destroy the cover crop without using glyphosate, ii) manage weeds, during the crop, without using glyphosate, iii) destroy meadows without using glyphosate - Farmers had to define further constraints: with or without herbicides
D5	Be resilient in a catchment area	Broad goal	The farmer identified sub-goals, and added another personal objective: improve not only water quality but also soil structure (in a no-till system)
D6	Develop mycorrhizal networks	Specific goal	Students refined the design goal by specifying the local context, its constraints and opportunities: develop mycorrhizal networks within fields of wheat, onion, apple trees and beans to reach the nutritive resources

3.2.2. Exploration of solutions : type of reasoning and mobilisation of knowledge

We noted that designers used wide-ranging knowledge while exploring candidate solutions, which are presented in Tableau 5 (including quotes). We also observed diverse strategies during the exploration phase of the design process, ranging between the exploration of a large number of alternative solutions (breadth-first exploration in D4) and the in-depth development of one idea (depth-first exploration in D3). For instance in D3, facilitators managed a breadth exploration asking each farmer to propose some candidate farming techniques addressing the design goal and to argue about their choices (called post-its session). They shared ranges of alternatives while exploring technical options. We noted, in all cases, that to widen their search, co-designers reused existing solutions, which were mostly practices or combinations of practices with known effects, as they had previously been implemented in analogous situations with a similar design goal. Such practices were either shared by farmers during the exploration phase of the workshop, or mentioned by one farmer, through one testimony, during the step of knowledge sharing at the beginning of the workshop, or shared by the facilitator or one participant, as known from literature or from other farmers (not attending the workshops). For example in D3, one experienced farmer described, at the beginning of the workshop, his successful management of rapeseed' pests without pesticide, and part of this management was reused in the design process by other farmers, by adapting it to the particularities of their local situation. More precisely, the experienced farmer introduced spring pea as a previous crop of rapeseed, with the aim of providing nitrogen to the oilseed rape, thus enhancing its growth, resulting in a better pest control. The spring crop was however not suited to the new design situation: the local climate was characterized with drought during flowering time (Tableau 5). Thus, the participants of the workshop discussed the introduction of another winter or perennial legume crop in the cropping system. Moreover in D1, farmers established a diagnosis to understand the spread of thistle within the field, in the past, and to identify the remaining risks in the CS under design. To prevent the future spread of thistle without herbicides, they reused successful practices or combinations of practices already implemented in the past (e.g. introduction of niger (*Guizotia abyssinica*) intercrop to cover the soil surface).

In other cases, we found that, while elaborating a completely new and as yet unknown solution, designers built generic solutions relying on function-based reasoning. In this reasoning, they used knowledge on biological objects or on biological or physical processes (e.g. biological cycle of natural enemies to control pests, biological N fixation), using both scientific-based knowledge and experience-based knowledge. Biological knowledge was provided by either the facilitator of the workshop, an expert in a domain, or one farmer attending the workshop (e.g. in Tableau 5: annual rate of decline of rye-grass *(Lolium spp.)*, by an advisor in D3; farmers' observation of flowering time of curled dock *(Rumex crispus)* in D1, conditions to favor the establishment of symbiosis between mychorrhizal fungi and crops, by facilitator in D6 using quiz of the MYMYW approach). To be useful for the exploration of solutions, the links between this biological knowledge and farming practices were explored: designers i) explained the effect of a practice proposed as a solution, and thus identified its contribution to the goal, or ii) imagined other practices resulting in the same effect, but better adapted to the situation under design. For example, in D1, farmers analyzed various candidate practices that could foster thistle exhaustion at a precise stage within the cropping cycle. They knew they had to till the soil in June while root reserves of thistle are at their lowest rate (here a generic solution), since they had learned about the dynamics of root reserves of this perennial weed during previous meetings. Therefore, in their cropping systems under design, farmers debated around the interactions between technical options to exhaust thistle: in order to plough stubble at the appropriate time, farmers could introduce new crops with either early harvest (e.g. in Tableau 5: harvest of spring pea before June) or late sowing (e.g. sowing of green beans after June).

Last but not least, designers debated around systemic interactions required to reach on objective. More specifically, designers discussed about the required effects of combined techniques to reach one objective, antagonistic effects between practices, and the impossibility of one technique to reach several objectives. For instance in D3, one strategy proposed to control autumn insects in rapeseed was to enhance its vigor at the beginning of the crop cycle, through earlier sowing in the summer and high nitrogen availability at sowing. To reach these conditions, farmers discussed the introduction of winter pea as a previous crop, due to its early harvest and the release of a large amount of nitrogen from pea residues. Yet, as weed control was considered to be difficult in a winter pea crop, they had to pursue the development of an alternative solution to address this new objective, and proposed either to grow a pea-barley intercrop, or to implement mechanical weeding. Moreover, designers adapted technical options to the global environment (to macro-climate or to soil type, e.g. in Tableau 5)

We also noticed that co-designers, whether novice or expert, have been set on one solution (e.g. a student stuck on one popular idea, an advisor fixed on the practical solutions he/she knows). One strategy mobilized by the facilitator of the workshop in D3, was to ask the farmer not to intervene in the exploration, to avoid fixation effect, and gave his opinion once the CS was designed by the rest of the group. Another strategy, facilitators mixed in design workshop farmers with contrasted objectives or contexts resulted to broaden the discussions (e.g. farmers from organic and conventional systems in D3, from arable crops or livestock production in D1).

Tableau 5. Knowledge used by designers in workshops during the exploration of solutions

Knowledge types	Examples	Quotes
Experience-based knowledge through testimonies	Introduce winter bean, rather than spring bean, to avoid the water stress during flowering period	"The benefit of winter beans is greater in soils that tend to be a little dry, the crop cycle is earlier, so it does better, in this period of hydric stress." (D1)
	Testimony of one farmer in another region who stopped using glyphosate	"A colleague coordinating the DEPHY* Network in the Manche region, told me about a particular sheet, describing the cropping system of one farmer in the Haute-Savoie region, in a different context, who had been in a no-till system for 8 years" (D4) *Network of demonstrations, experimentations and productions of references on systems that are less dependent on pesticides
	Testimony of one farmer managing weed in organic farming	"After the switch to organic farming, the only option I could see at the time to manage weeds, was to extend the length of the crop rotation cycle, not necessarily to diversify the crop rotation, but to insert meadow" (D4)
Range of known technical options addressing the same design goal	Identification of technical options to manage a glyphosate-free system	"Here, to start with, we are focussing on the identification of individual farming techniques, before trying to combine them" (D4)
	Comparing the previous effect of lentils, beans and peas	"My question now is about the previous effect of lentils, which is in no way comparable to beans or peas." (D3)

Knowledge on biological object and biological or ecological processes, either scientific-based or experience-based	- Annual rate of decline of rye-grass *(Lolium spp.)* - Rye-grass grows all year round	"Ryegrass, like black-grass, has quite a high annual rate of decline" "If you harvest on July 20th, if it rains a little bit, you have ryegrass coming up right after your harvest... If all conditions are met, it comes up." (D3)
	Flowering time of curled dock *(rumex crispus)*	"Curled dock is adapted to grassland, it's also adapted to mowing, every time you mow it, it grows back. It's able to flower several times a year, so it has no problem with that." (D1) "You can cut it every two weeks, it goes to seed. Over and over again". (D1)
	Selection of nyger due to its drought resistance	"I wanted a plant that would grow well in a drought. It (nyger) is a plant that grows very well in dry conditions. " (D1)
Link biological knowledge with farming techniques	Early harvest of pea to leave time to implement the soil tillage operation while root reserves of thistle are at their lowest	"Peas are actually harvested in late June, so we're into the thistle-sensitive period." (D1)
	Plough depth to fragment roots and lead to exhaustion of curled dock	"Until today, I was used to till plough, with a first found quite shallow. I wasn't working deep on my first round." "Maybe you're cutting into the collar." " Yes, you may have multiplied by cutting into roots." (D1)
	Alfalfa to compete with weeds	"The objective is to use alfalfa, as its large growth allows to compete with weeds" (D4)
	Assess the contribution of faba bean to repel insects	"Will the faba bean sprouts on the row be enough to disturb the insects? Shouldn't we add something else? » (D3)
Interactions between technical options to reach an objective	Combine the introduction of a late-harvest crop and stubble ploughing	"For example, after a pea crop, or a crop harvested very early, it won't be enough to get the thistle, because the thistle has a big root. So you absolutely have to stubble plough first, to get the roots up. And only then can we use the Dyna-Drive." (D1)
	Supply nitrogen to rapeseed and control rye-grass *(Lolium spp.)*	"With this idea of having a favorable previous crop, like a pea or bean, at least a legume, and being able to manage ryegrass, couldn't we imagine something in between, like a cross-cropped clover growing for eight or nine months?" (D3)
Technical option adapted to the global environment	Selection of legumes relatively to the type of soil	"In clay and hydromorphic soil, I believe it's better to grow clover than alfalfa" (D3)

3.2.3. Local adaptation of the solutions and preparation of their implementation : type of reasoning and mobilisation of knowledge

To achieve their design objectives, designers adapted practices or combined practices to suit their local context and its environment, using both scientific-based knowledge and experience-based knowledge, which are synthetized in Tableau 6 (including quotes). Most of these adaptations were not known at the beginning of the workshop, but emerged during the design process, as the exploration progressed. In some cases, designers discussed the technical compatibility and incompatibility between farming practices to prepare their implementation. For example, to reduce the use of post-emergence herbicide, designers had considered hoeing winter wheat (D2) or rapeseed (in D3). They consequently came back to the modalities of sowing and concluded that row spacing during sowing had to be increased to allow hoeing (Tableau 6). Moreover, they tried to define the conditions of success or failure of an innovative practice previously adopted by others (related to soil and climate conditions, or crop status), in the view to assess its adaptation to the new local context. These conditions were sometimes described by a farmer attending the workshop, but, at other times, they could not easily be identified and were assessed through interactions within the group. For instance, in D1, one experienced farmer's strategy to prevent the emergence of thistle during intercrop was to rapidly cover the largest possible surface area of soil, by sowing niger *(Guizotia abyssinica)* in mid-June (experience-based knowledge). In the aim of adapting this strategy, farmers identified, through interaction, that to reach a sufficient soil cover to be able to control thistle, the niger should be sown early, right after the harvest of spring pea, to benefit from the post-harvest soil moisture (Tableau 6). Last but not least, designers discussed about the specific interactions between the local environment and the practices and thus, they selected practices better adapted to the local environment (e.g. in Tableau 6 : combine the natural drying of the meadow during summer and its mechanical destruction). In another example (in D1), they discussed about the impact of farming practices on the environment: the possibility to raise the pH, using some farming practices, in order to impede the growth of curled dock *(Rumex crispus)*.

To prepare the implementation of one designed solution in a real specific field, designers not only used scientific-based knowledge but more frequently experience-based knowledge (all cases). To do so, designers specified the modalities for the implementation of the solutions to suit their local context. Moreover, very often, while determining these modalities, designers determined indicators (crop of soil status) that are related to the optimal conditions for action. For instance, in D1, farmers adapted the cutting frequency of alfalfa to thistle growth (right before the 6-8 leaf stages, scientific based-knowledge), and in D4, the destruction of intercrop with a FACA roller at its flowering stage (Tableau 6).

The Figure 19 summarizes the types of reasoning and knowledge, and main ways of mobilizing knowledge that have been used by designers and facilitators throughout the design processes: the reformulation of the design goal, the exploration of solutions and the local adaption of solutions while preparing their implementation.

Tableau 6. Knowledge types used by designers in workshops during the adaptation of solutions

Knowledge types	Examples	Quotes
Technical compatibility and incompatibility between farming practices	Combine the introduction of lentil and weed scything	“With lentils, you can scythe the taller ryegrass.” (D3)
	Adapt the sowing density in order to apply the harrow weeder	"You have to increase the sowing density of rapeseed. The weeding harrow will remove a bit, but you'll keep a good density.” (D3)
Conditions of success or failure of candidate practices implemented by others	Early sowing date of niger intercrop to provide more shading	“This is not the first year I've been growing niger. And the earlier you sow, the better.” (D1)
	Thistle was regulated here because niger growth was faster after summer rainfall	“In fact, it started growing the day we had a storm. We must have had 15 mm, which is extraordinary for the year. So the niger exploded.” (D1).
	Plough depth to fragment roots and lead to exhaustion	“Until today, I was used to till plough, with a first found quite shallow. I wasn't working deep on my first round.” "Maybe you're cutting into the collar.” " Yes, you may have multiplied by cutting into roots.” (D1)
	Destruction of intercrop with roller	“It has to be in the flowering stage to use the FACA, for it to work.” (D4)
Practices and combined practices adapted to the local environment	Destroy the meadow in late summer	“We count only on natural drying out of the fields, but you need strong sunshine. And you need to go into the fields as soon as the sun shines, to accelerate the drying out of the plant.” (D4)
	Optimal conditions for curly dock growth	“Curly dock likes acidic soils best, so if we raise the pH, the weed will be in a less favorable context.” (D1)
	Getting a vigorous rapeseed in a valley	“My goal would be to have a vigorous rapeseed, because it's in a valley, without wind. It's a good place for insects, especially rape blossom beetle.” (D3)
Modalities for the implementation of solutions to the local context	Technical modalities to use one “roto-étrille” (from a video shown in the design workshop)	“That means we can use this mechanical weeder both as a harrow or rotary hoe, right after sowing, to enable blind tillage, and set the working depth in order to be above the seed” (D4)
Monitoring indicators	Time to implement the soil tillage operation related to an indicator	“It would be nice if you could have at least three operations in total. Try not to go beyond the critical stage of the thistle, try not to go beyond 6-8 leaves.” (D1)
	Destruction of intercrop with roller	“It has to be in the flowering stage to use the FACA, for it to work.” (D4)

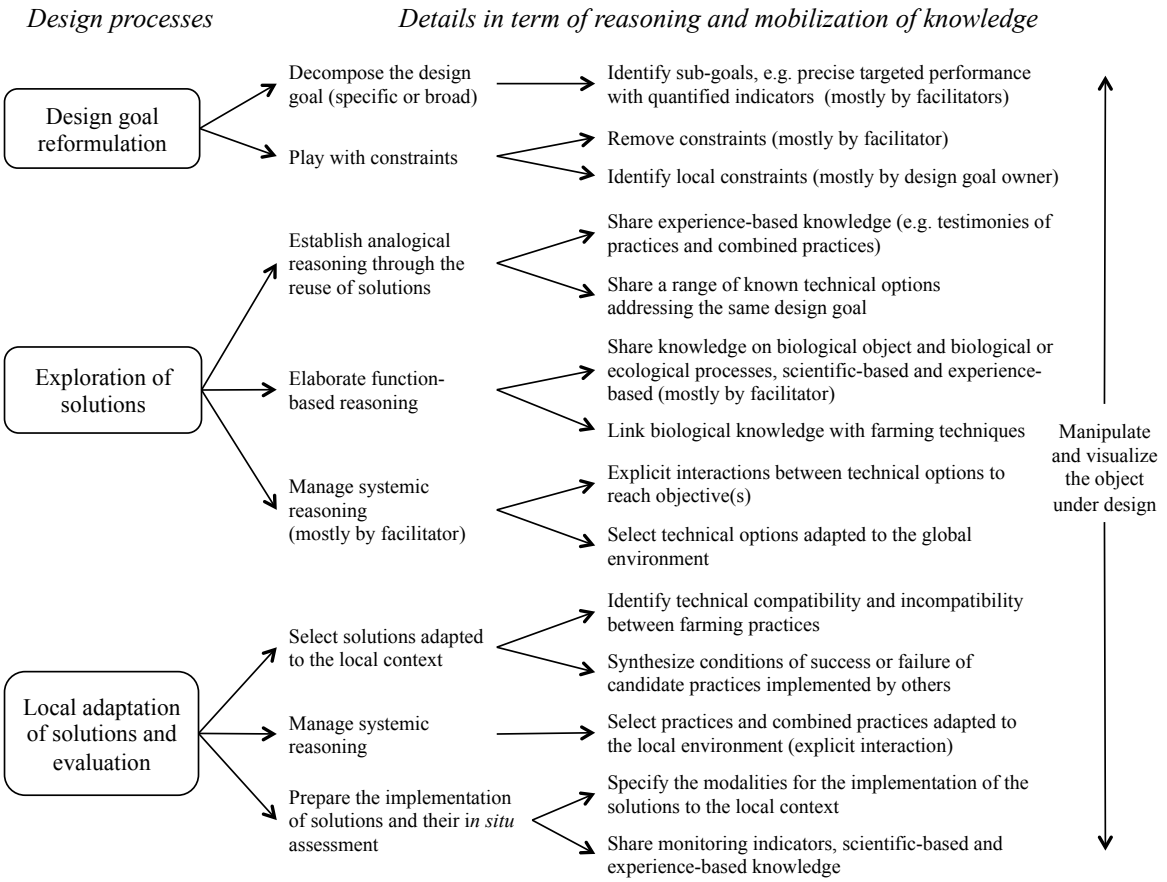


Figure 19. Synthesis of reasoning and knowledge mobilized by designers during the three interdependent processes of (i) design goal reformulation, (ii) solutions exploration, and (iii) local adaptation of the solutions and their evaluation

4. Discussion

4.1. Learnings and shades from design in workshop

Our research established a diagnosis of use situations based on observations during diverse collective design workshops on either agroecological cropping systems or crop management plans. Besides, we chose to base our results on *in situ* observations of diverse co-design activities that require verbalization, in preference to interviews conducted out of context. Observations of design workshops are time consuming but enabled us to gain access to authentic knowledge exchanges between participants without any rationalization by the activity designer up front (Visser, 1990b). We thus identified various types of reasoning and knowledge mobilized by designers, at each step of the design of agroecological cropping systems: redefinition of the design goal, and exploration and adaptation of solutions to the context of implementation (Figure 19). We now discuss how our results tell us about how design-support tools could guide designers in their activity, by stimulating their reasoning, providing knowledge to feed the design, and promoting back and forth between these three steps since there is a co-evolution of the problem and the solutions (Dorst and Cross, 2001). Indeed, to date, agronomic literature has shown several methods developed to support on-farm design of agroecological cropping systems, but few authors have focused on generic tools or boundary objects to be developed to equip and enhance the design process (Martin et al., 2018; Prost et al., 2018). Besides, as design within a workshop is only part of the overall design process, we showed results regarding the reformulation of the design goal and the exploration of solutions, but no result relating directly to *in situ* evaluation of the newly-designed solution. Design continues through the implementation, in the field, of the CS which was designed in workshop, thus allowing a conversation with the action situation, to use Schön's expression (1992). Indeed the adaptive management of the CS in time and to local conditions (e.g. soil and climate), to reach the design goal, is feeding a process of step-by-step redesign (Meynard et al., 2012), thus completing the features of the cropping systems by confronting the prototype to action in the real situation.

4.2. Design support tools should promote knowledge sharing

Agroecology is based on knowledge-intensive practices (Altieri, 2002), and the knowledge needed for agroecological cropping systems design - either fundamental or situated - is scattered amongst numerous stakeholders (Girard and Magda, 2020). Fundamental knowledge is defined as generic knowledge on key biological or physical processes, and is used by farmers in their design of innovative systems, for instance to reinterpret the effects of new practices (Toffolini et al., 2017). The workshop format afforded an opportunity to share knowledge amongst the participants of the workshop, but we also observed a need to broaden the areas of knowledge to be considered during a workshop (e.g. to fulfill knowledge gaps of designers during the workshop, when they are required to pursue the design process). For instance, facilitators could provide designers with new knowledge by organizing a talk from an expert, or a testimony from an experienced farmer, at the beginning of the workshop (Berthet et al., 2016), and this new knowledge became a first common basis among participants. Enlarging the knowledge basis for design, outside the knowledge detained by the participants of the workshop, is thus a challenge, and should benefit from sharing distributed knowledge. This addition of knowledge into the design process is one way to help designers to overcome the fixation effect while building solutions to the problem they address. The fixation is well documented in design studies, and refers to a restricted range of solutions that designers explore (Jansson and Smith, 1991). Researchers showed that sharing knowledge of other domains and disciplines can be a useful source of inspiration (Bonnardel, 2000). For instance, we found that, in

design workshops, mixing farmers with contrasted objectives or contexts resulted in valuable and constructive discussions (e.g. farmers from organic and conventional systems, from arable crops or livestock production). Thus, design-support tools, widely shared and accessible to everybody, should allow a large amount of knowledge to be more accessible to designers and facilitators, while gathering distributed knowledge and learnings (Ingram, 2008). Both types of knowledge should be shared and hybridized in such tools: relevant science-based knowledge and experience-based knowledge supporting action - also called actionable knowledge (Geertsema et al., 2016). They should also gather knowledge held by various stakeholders, even, and especially when they do not attend the workshop. This raises questions about the best knowledge structure in such tools to enhance the emergence of innovative ideas, as Brun et al. (2016) showed the importance of knowledge structure on generativity (defined as the emergence of new ideas and new knowledge).

4.3. Design-support tools should promote several types of reasoning

We found that designers and facilitators displayed diverse types of reasoning throughout the design activity made of interrelated processes: systemic reasoning, analogical reasoning, and formulation of constraints. We will now discuss how design tools and facilitators of design workshops may guide designers in their reasoning, to support farmers as the designers of their own CS (Girard and Magda, 2020), and to enhance their learnings (Cristofari et al., 2018).

To begin with, analogical reasoning, well-documented in design studies, has been shown to allow designers to expand their pool of ideas, compared to their initial ones (Bonnardel, 2000; Détienne, 2003). In agronomy, designers reuse existing solutions already implemented in local context, as a source of inspiration (e.g. either practices, or combined practices or entire CS). The direct transfer of one CS to another local situation is rarely relevant due to strong interactions between techniques and the environment, and among techniques. Instead, generally only some parts of the CS were reused and adapted to the new design situation (new objectives, local constraints and opportunities). Prior solutions, addressing similar goals and already tested by pioneer farmers, can be identified by tracking on-farm innovative practices (Salembier et al., 2016), system-experiments performed in experimental stations (e.g. Colnenne-David and Doré, 2015) or experiments managed by farmers themselves (Catalogna et al., 2018). To sum up, design-support tools could be shaped to i) enhance the reuse of solutions that have proven to lead to satisfying results for their designers, ii) describe the agronomic logic underlying these satisfying practices, that is the links between the motives of the farmer and the techniques he chose to reach his target, and iii) help designers to determine whether a known practice, implemented in the conditions of the new situation, will be likely to produce the expected effects, previously observed elsewhere. This can be achieved by decontextualization and recontextualization processes of an individual experience, by mobilizing fundamental knowledge (Toffolini et al., 2017). This also requires an effort of structuration and formalization of the knowledge extracted from these experiences (e.g. to explicit the interactions between practices, determinant of the achieved effects, linked to the characteristics of the environment that allow to reach the objectives). Design-support tools also should foster the learning of systemic reasoning throughout the design process, that was partly forgotten due to the intensive use of inputs allowing to solve a problem by an input. Facilitators of workshop should also be determinant to support and facilitate the use of such tools to that aim.

We found that designers could be set on one solution, due to fixation effects (e.g. facilitators are themselves sometimes fixed on the practical solutions they know). Design workshops were promoted as a method to foster de novo design, which is largely engaged in France involving stakeholders (Meynard et al., 2012). This raises the interest of tracking and sharing the progress done in each workshop to speed up the following exploration of other designers with similar design goals while

overcoming fixation effect (referred to as design rationale in the literature). As example, design tools could show ranges of innovative practices, already explored by other collectives and addressing the same design goal, or coming from successful experimented systems or farmers' innovations. Design in agriculture should benefit from sharing ready-made explorations from previous design workshops related to similar design goals (Pelzer et al., 2020). Moreover, to help designers to think outside the box, we highlighted that facilitators often removed the constraints usually encountered by the farmers participating in the workshop (e.g. available equipment). Yet, researchers also claimed that adding constraints could have a negative impact on creativity (e.g. through reduction of motivation), but may be useful to stimulate the exploration of disruptive solutions, because it makes it impossible to adopt a prior solution (Hatchuel and Chen, 2017).

Last but not least, design process is made of interrelated steps: reformulation of the design goal, generation of solutions (e.g. exploration and selection of solutions), and evaluation (Darses et al., 2004b; Visser, 2009b). Our observations indicated that no existing tools support all these steps and their interactions. We believe several and interrelated design-support tools could support designers and facilitators throughout the overall process (no design-support tool should integrate all specifications highlighted in our results).

4.4. Design-support tools should promote the construction and sharing of external representations

We argued that design-support tools may support designers in their activity by sharing knowledge and promoting types of reasoning in co-design. In collective design activity, it is also necessary to work towards the establishment of common ground (grounding) and thus help designers in the construction of shared representations of solutions throughout the design process (Détienne, 2006). We will now discuss the importance of external representations, in collaborative design situations. First, the visualization of the object under design could help designers to reformulate the complex design goal, especially when it is owned by one farmer or proposed by one facilitator implementing rules (e.g. territorial rules in vulnerable zones within catchment areas, national rule with the banning of the use of glyphosate). This reformulation process, also referred to as problem framing in the literature, was mainly done by facilitators throughout the design workshops studied, and it is necessary in co-design to develop a common and desired goal between designers (Berthet et al., 2016). Second, the visualization could help co-designers to refine the object in design during the workshop. Designers visualize and manipulate the objects being designed, to express their interpretations of the complex solution under design, and to share diverse intentions and ideas for solutions (Safin et al., 2012). More precisely, the authors referred to "reflective conversation" between designers and these external representations (Schön, 1983). To sum up, design-support tools should enable the development of boundary objects and external representations to visualize the design goal and the systemic features of the object under design.

5. Conclusion

Our research established a diagnosis of use situations based on real observations during various co-design workshops. We were able to characterize design situations and to identify the diversity of processes and knowledge uses occurring during these design workshops. We discussed ways in which design-support tools could support designers in the redefinition of the design goal, the exploration of ideas, and the adaptation of solutions to the local situation. We also highlighted the major role of facilitators in co-design activity, not only in supporting knowledge sharing but also in guiding reasoning. This questions the extent to which design-support tools should be envisaged, either as purely technical systems, providing knowledge on demand and guiding various types of reasoning, or as socio-technical systems in which particular roles could facilitate these processes.

A remaining scientific challenge is the extrapolation of those results outside the design situations in which they were grounded (e.g. individual design, step-by-step design, design of landscape organisations). As the design goal and designed solutions co-evolve in feedback loops between all the interrelated steps of the design process (e.g. the exploration of solutions allows designers to refine the design goal), we wondered how design-support tools could either support the overall organization of the entire process or help facilitators in those tasks. This raises questions of coordination and negotiation between designers, since every step of the design process may not always be carried out by the same stakeholder, depending on their skills and interests.

Acknowledgments

We thank all colleagues involved in this work, as well as all the participants and facilitators of the design workshops, specifically the farmers, advisors, students and their teachers, and the researchers. We also thank Liz Carey Libbrecht for reviewing the English version of this paper. This work was carried out under the umbrella of the Initiative for Design in Agrifood Systems (IDEAS).

Chapitre 2 : Produire de ressources cognitives pour favoriser les phases de divergence et convergence, pendant l'exploration des solutions agroécologiques

Sur la base du Chapitre 1, nous avons identifié des règles pour produire des formats standardisés de ressources cognitives. Ces ressources visent à favoriser la divergence (la phase d'exploration large identifiée dans le Chapitre 1) et/ou la convergence (la phase d'adaptation des solutions au contexte local identifié dans le Chapitre 1). Plus précisément, nous avons mobilisé :

- les résultats du Chapitre 1 et des travaux en agronomie sur les connaissances mobilisées par les concepteurs de systèmes agroécologiques (cf. Introduction) ;
- les recommandations issues de la littérature en sciences de gestion sur la capacité générative des structures de connaissances, c'est-à-dire la capacité à générer de nouvelles idées (Brun, 2017);
- les ressources actuelles pour favoriser l'inspiration des concepteurs de systèmes agroécologiques, telles que les schémas décisionnels et la carte à idées (Reau et al., 2016).

Ces ressources cognitives, qui structurent les connaissances, sont : *l'arbre d'exploration (function-based resource), le tableau bioagresseur (biology-based resource) et le schéma logique d'action (experience-based resource)*. Pour améliorer ces ressources, nous avons réalisé des tests auprès d'acteurs agricoles (n = 12) : dans **des ateliers de conception** auprès de concepteurs en tant qu'utilisateurs potentiels de ces ressources, et **dans des ateliers de capitalisation** auprès de contributeurs, produisant des connaissances susceptibles d'être formalisées dans ces ressources (Figure 20, Annexes 1 à 3). Sur la base des résultats, nous discutons les différents usages des ressources envisagés, et les retours des contributeurs sur l'activité de capitalisation de ces ressources.

Ce chapitre est rédigé sous la forme d'un article scientifique soumis dans la revue « Agricultural Systems » (version soumise en Mars 2021 ; en révision après demande de modifications)

Ce chapitre a fait l'objet d'une publication dans la revue Agronomie, Environnement & Sociétés (en cours) et d'une communication orale au « Farming Systems Design Symposium » (FSD6).

Quinio, M., Détienne, F., Guichard, L., Jeuffroy, M.-H., 2019. Knowledge structures to support design of cropping systems by farmers. Presented at the 6th International Symposium for Farming Systems Design, p. 3.

Figure 20. Atelier de capitalisation d'un arbre d'exploration pour gérer les adventices (coll. Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie)

Cet article est en cours de révision après demande de modifications

Cognitive resources to promote exploration in agroecological systems design

Maude Quinio[a*], Laurence Guichard[a], Paola Salazar[a], Françoise Détienne[b] , Marie-Hélène Jeuffroy[a]

[a]Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR Agronomie, 78850, Thiverval-Grignon, France
[b]I3-SES, CNRS, Telecom Paris, Institut Polytechnique de Paris, Palaiseau, France

*corresponding author, Bâtiment Eger, Avenue Lucien Bretignières, 78850 Thiverval-Grignon, France, maude.quinio@inrae.fr

Keywords fixation effect, design-support tool, user-oriented design, knowledge structure, collective design

Abstract

CONTEXT
Design activity supporting the agroecological transition requires a renewal in the production and circulation of knowledge, involving various and numerous actors, including practitioners. One of the main challenges for Research and Development organizations is therefore to develop helpful design-support tools for this purpose.

OBJECTIVE

Our objective is to design cognitive resources suited to a wide diversity of design situations, and guiding the invention of disruptive and innovative agronomic solutions tailored to the situation in which they will take place.

METHODS

Based on theoretical insights on design, we first developed three frameworks of cognitive resources to support divergent and convergent thinking during the exploration phase of a design process. We then conducted 12 user tests with various stakeholders (advisors, farmers, teachers and researchers) who were either designers of agroecological cropping systems or contributors having elaborated knowledge-based resources.

RESULTS AND CONCLUSIONS

We developed three frameworks of cognitive resources, with specific knowledge structure adapted to design reasoning in agriculture: (i) the function-based resource, consisting of a wide range of alternative technical options that, by contributing to particular functions of the agroecosystem, are likely to produce desirable outcomes; (ii) the biology-based resource, describing pests and natural enemies at each biological stage, along with their traits and the functions that may influence their development and spreading, and also showing a range of alternative techniques affecting these functions; and (iii) the experience-based resource, describing a combination of practices implemented in a particular situation with a specific aim, along with their results. Our findings highlight how the resources support users in their activities regarding the exploration part of a design process, ranging from the preparation of the exploration of one design workshop, to the documentation of a collective exploration for its reuse by other designers. Contributors raised several issues about the building of

these knowledge-structured resources, such as the completeness, the evidence and the value-laden nature of the content.

SIGNIFICANCE

We discussed how these cognitive resources could be enriched by a community of stakeholders with diverse expectations and values, yet all with the common goal of designing agro-ecosystems conducive to agroecology.

1. Introduction

To meet the current challenges of agroecological transition, agronomists and farmers have been engaged for several decades in the design of innovative agricultural systems tailored to local conditions. Research on design in agriculture has provided methods and tools to support that design process, and particularly to help farmers as the designers of their own systems. Yet during the exploration phase of the design, designers often tend to put forward already known solutions. This fixation effect prevents them from suggesting disruptive solutions that are crucial if agriculture's new challenges and ambitious goals are to be met. Therefore, innovative modes of production and circulation of knowledge that revise the diffusionist approach are required for the agroecological transition and appear essential to stimulate such exploration processes. Our objective was to develop frameworks of cognitive resources to support agronomists and farmers designing agroecological systems.

In-depth changes are required in agricultural systems to face current environmental and socioeconomic challenges and thus to support the agroecological transition. To this end, it is necessary to design innovative cropping systems that rely on biological regulations and are specifically adapted to local situations (e.g. climate, soil). Innovative design is the design of a novel object (e.g. farming practices, cropping system, crop management) that has desirable properties and is based on an exploration of knowledge to satisfy entirely new expectations. It can be managed either through incremental change (step-by-step design) or from scratch (*de novo* design) (Bos et al., 2009; Meynard et al., 2012). To further the research agenda on innovative design serving the agroecological transition, researchers in agronomy have recently drawn theoretical and methodological insights from the Design Studies field (E. T. Berthet et al., 2018; Della Rossa et al., 2020; Prost et al., 2018; Salembier et al., 2018). For instance, in creative design the overall design process involves an exploration process, which converges to one or several solution(s). In many cases, a successful design process has been described as including successive periods of divergent and convergent thinking (Cross, 1994). In divergence phases, generally occurring at the beginning of the process, the design space (e.g. the space of possibilities) is expanded through exploration of a wide range of alternatives, whereas in convergence phases, the aim is to select, adapt and evaluate solutions to the situation at hand. To generate solutions, designers both use and produce knowledge to progressively refine the properties of the novel object under design (Hatchuel and Weil, 2009). They sometimes apply knowledge derived from their own past experiences, and reuse features of prior solutions, referred to in the literature as analogical reasoning (Bonnardel, 2000; Détienne, 2003). These existing solutions inspire designers, but they may also contribute to fixation effects, that is, a lack of creativity and an overreliance on a limited set of already known ideas. Such design fixation is defined as a cognitive state "in which someone engaged in a design task undertakes a restricted exploration of the design space due to an unconscious bias resulting from prior experiences, knowledge or assumptions" (Crilly and Cardoso, 2017). Jansson and Smith (1991) first showed that, when an example of an existing solution is brought to a design task (e.g. the use of a picture as stimulus), designers have a tendency to copy some features of the example which are thus directly transferred into the novel object being designed. The range of solutions generated is thus affected by this initial proposition: designers being influenced by their own "body of knowledge", and sometimes only applying knowledge from their own domain of specialization (Ward, 1994). In this case, this is characteristic of a general knowledge compliance effect (Bonnardel, 2006).

Designing agroecological systems is challenging. As the features of such practices are highly dependent on the situation in which they will take place, exploration should benefit from both science-based and expert-based knowledge (Doré et al., 2011). Yet the production of scientific knowledge on biological and ecological processes, a determinant aspect of agroecological systems design, has been neglected for decades due to the heavy dependency on inputs, particularly in developed countries. The patchy knowledge existing on such processes, most often specifically local, is poorly shared between stakeholders. Moreover, as design continues in action (Schön, 1992), observations and feedback from the implementation of innovative, effective and uncommon farming practices are needed to feed design processes, for example design workshops. There is great value in sharing situated knowledge; it enables other farmers to learn from pioneering experiences when designing their own systems (Girard and Magda, 2020; Goulet et al., 2008; Toffolini et al., 2017). Such knowledge and past-experiences required in design are most often produced locally, and are held by a wide diversity of scattered stakeholders (mostly farmers and advisors). They therefore need to be widely shared in order to inform the design process (L. Prost et al., 2017). To foster both design processes and designers' activity, methods and tools have been developed and implemented by agronomists (Martin et al., 2018; Salembier et al., 2018). Some design-support methods, identified by Le Gal et al. (2011), have been specifically proposed to support the collective exploration phase of design. For instance, agronomists have proposed to organize design workshops where participants collectively generate solutions to achieve a design goal. These participants may be farmers only (Lefèvre et al., 2014), or other designers such as advisors and researchers (Pelzer et al., 2020; Vereijken, 1997). Very often, designers employ tools to collectively guide them during design. For instance, Prost et al. (2018) developed a dashboard to support and monitor the step-by-step collective design of cropping systems within a catchment area, especially the implementation and monitoring of solutions. Online tools are also increasingly being developed to widely share science-based or experience-based knowledge and the diverse resources supporting design, such as the online platform dedicated to farmer-built equipment for agroecology (Salembier et al., 2020), or the French web tool dedicated to sharing knowledge for agroecology (Soulignac et al., 2017). There is also an increased use of social networks in society, including farmers or advisors who share past experiences online (Détienne et al., 2012a; M. Prost et al., 2017). These experiences are thus widely disseminated, but the remaining challenge is to determine how they support the decontextualisation process described by Toffolini et al. (2017), and thus to foster their more widespread use. Numerous and diverse resources have been developed by R&D to document site- and time-specific experiences, such as those identified by Salembier et al. (2021), but we do not know of any feedback about their reuse by others in design processes. Besides the development of participatory methods, sometimes relying on specific tools, there is still a need to develop design-support tools to help designers in their exploration of knowledge, and specifically to enlarge their design space and enable them to overcome fixation effects. Most importantly, such tools should ensure the capitalization on a diversity of experiences and feedbacks, to be largely shared.

Hatchuel and Weil (2009) showed the importance of knowledge structures to enhance the emergence of new ideas in design processes. The characteristics of knowledge structures that effectively foster exploration differ for rule-based or innovative design. It is the latter which is more relevant to address the challenges of the agroecological transition. In rule-based design, and according to the axiomatic theory (Suh, 2001), the design of a product is optimal if one component is associated to one and only one function (called deterministic links). Designers' reuse of the same component in different ways in engineering (modularity) is moreover valued in this approach. By contrast, innovative design encourages a departure from existing preconceptions and relies on knowledge structures that avoid deterministic and modular links to foster generativity (Brun et al., 2018, 2016), that is, the designers' ability to generate a new solution that differs from existing ones (Hatchuel et al., 2011). The use of

new knowledge often leads to “knowledge restructuration”, also called knowledge preordering, where designers add, select and test knowledge, thus reorganizing the knowledge structure during the design process while breaking away from existing determinisms (Brun et al., 2016; Le Masson et al., 2016). Therefore, knowledge preordering triggers the generation of original and disruptive ideas. To foster the design of agroecological practices, there is thus a need to develop knowledge structures in agroecology that are underpinned by these principles. Yet proposing knowledge structures able to foster design exploration in agroecology is challenging since the objects to be designed (e.g. cropping systems) are characterized by the importance of their systemic features (Prost et al., 2016). Building consistent interactions between practices, and between practices and the environment, must be at the heart of the design process if highly efficient agroecological systems are to be achieved. Therefore, knowledge-sharing tools should be developed to stimulate the innovative design of such systems, thus supporting the reasoning of interactions between practices.

As ergonomists have recommended, the development of new tools is improved when their targeted users are involved from the start of the design process (Béguin and Rabardel, 2000). To this end, one way would be to carry out a diagnosis of uses before design, thus supporting the identification of the diversity of situations in which the tool should help to solve a problem, as well as the characterization of the uses of existing tools (Cerf et al., 2012a; Ravier et al., 2018). Another way, during the design process, would be to test a prototype of the tool under design with targeted users in a realistic work situation, by comparing the ways users apply the tool (Cerf et al., 2012). The uses made of the prototype arrange “a dialogue” between the users and the designers, and also between users and work-like situation (the reflective conversation described by Schön). The users of tools for designing innovative practices and agroecological systems may be farmers, advisors, experimenters and even researchers, but also actors who have scientific and/or experience-based knowledge and wish to share it, thus becoming contributors to such design-support tools (hereafter resources). Therefore, the design of tools based on sharing of the knowledge and experiences of many different actors should benefit from their tests and feedback around prototypes.

To enhance the development of site-specific agroecological systems, there is thus a need to support farmers- and advisors-designers in their exploration of solutions (within both convergent and divergent thinking), while preventing the fixation effect. Extensive sharing of experiential learning from past experiences by distributed stakeholders may efficiently support such exploration. Knowledge structures fostering generativity should be included in online design-support platform adapted to the agroecological domain. We assumed that specific types of knowledge (e.g. biological knowledge, action-based knowledge) and knowledge structure may favor either convergent or divergent thinking. Our study, based on user-oriented design, aimed at developing three frameworks of cognitive resources designed to support agronomists and farmers in both the divergent and the convergent thinking required to generate innovative and systemic solutions to be implemented in the field. We defined cognitive resources as knowledge-structured resources (e.g. mind map, diagram or table structuring knowledge). We first analyzed methods derived from the *Design Studies* field to foster divergence, that is, to widen the search for solutions while overcoming the fixation effect. We then developed three types of generic resources based on these insights, while adapting them to the agroecological field. We also debriefed with targeted users and contributors of the resources (here, farmers and technical advisors) on the uses made of the prototypes in several work-like situations (Cerf et al., 2012a). Finally, we discussed our main findings.

2. Materials and methods

2.1. Theoretical insights of ways to foster divergence and convergence

Several research studies have investigated designers' strategies to foster exploration within design processes. We will focus on three of these: the use of functional analysis, the use of functional traits and the use of experience-based knowledge.

The use of functional analysis. With this strategy, to design a new object, designers perform a functional analysis to establish links between functions, also called functional requirement, and components, named design parameters. For example, in the design of a trailer, one function is to connect it to the towing vehicle, and the corresponding component is a hitch (Ulrich, 1995). Specific knowledge structures describe these links, referred to as functional diagrams (Ulrich, 1995) or the Suh matrix (Suh, 2001). The correspondence between functional elements and components is one-to-one (deterministic links), or more complex, either many-to-one or one-to-many (non deterministic and non-modular links). Moreover, in cognitive psychology, Linsey et al. (2010) investigated the use of functions to overcome the fixation effect, by functionally describing the design goal in terms of sub-functions. In agronomy, while designing, agronomists and farmers commonly use functions to interpret and describe the links between targeted soil-crop status in fields and implemented practices (Toffolini et al., 2017; Quinio et al., submitted), or between traits of grown species and the ecosystem services provided (Tribouillois et al., 2015), or else between farmers' motives and practices, in the agronomic logic underlying the understanding of on-farm innovations (Salembier et al., 2016). Functions help both designers and facilitators, during design workshops or field visits, to interpret the effects of practices implemented by pioneer farmers or experimenters. This supports the production of actionable knowledge applicable in other conditions, and makes it possible to anticipate the effects of a new technique designed to meet a challenge (Toffolini et al., 2017; Verret et al., 2020). Mind-maps, based on the use of functions, have been developed by Reau et al. (2016) and Pelzer et al. (2017) to synthetize a range of technical solutions proposed by individual participants in design workshops focusing on, respectively, limiting the use of fertilizer nitrogen or developing legume-based cropping systems.

The use of functional traits. The trait-based approach, which emphasizes the links between functions and specific traits, was first developed in ecology (either morphological, physiological or phenological traits at the level of individual organisms (Garnier and Navas, 2012)), and was then adapted to agronomy (Damour et al., 2014; Tribouillois et al., 2015). This approach has proved its value in stressing the importance of the functional diversity of multispecies cropping systems in the production of ecosystem properties and services: root depth, root architecture and plant height are examples or traits used to assess the weed-crop competition or complementarity in the resources used. Functional traits were first developed to describe plant functioning but can also be relevant with other organisms such as microorganisms or insect pests (Garnier and Navas, 2012).

The use of experience-based knowledge. In this strategy, designers often reuse existing examples while building solutions. The effects may not only be positive (e.g. inspiration) but also negative (e.g. fixation). While using analogies, designers refer to some features (e.g. functional, structural, aesthetic) of solutions that already exist, also called "source solutions" (Bonnardel, 2000). By doing so, they transfer some components from the source solution to develop and adapt the "target solution" to the situation at hand (Bonnardel, 2000). The source often relates to the same domain as the target (intradomain analogies), but solutions from other domains also help designers to open up their space of research, looking at a broader range of examples (interdomain analogies) – provided they are

related, to some extent, to the problem to be solved. To get inspired in design processes, agronomists and farmers also use examples of sometimes rare agroecological systems that have already been implemented by innovative farmers (Lefèvre et al., 2014; Salembier et al., 2020). These existing source solutions may either be stored in the designer's own knowledge base or held by other stakeholders who share these examples during design workshops (Quinio et al., submitted), in other exchange situations (e.g. field visits, meetings), or on websites (M. Prost et al., 2017). Farmers- or advisors-designers use such experience-based knowledge to support the adaptation of pre-existing solutions to their new local context (Toffolini et al., 2017).

2.2. Development of prototypes of knowledge-structured resources

Based on the above strategies proposed in the literature, we designed three frames of knowledge-structured resources with the view to supporting agronomists and farmers in their exploration process: the *function-based resource* (FBR), the *biology-based resource* (BBR) and the *experience-based resource* (EBR). We built the FBR and BBR with the intention of specifically supporting divergent thinking, and the EBR to support both divergent and convergent thinking. The three resources differ in their structure and mode of representation. First, the FBR, an exploration tree, gathers and shows a range of generic alternative techniques (frequent or rare) to reach a design goal, either a broad goal (e.g. the reduction of pesticide use) or a much specific goal (e.g. the control of thistle in organic cropping systems). Second, the BBR, a chronological table, describes biological knowledge about pests and natural enemies, that is, the main development stages, as well as their traits and the functions that may influence their development and spreading. It displays a range of alternative techniques affecting these functions, to control one pest over time (either a weed, a disease, or an insect). Such biological knowledge is rarely available to practitioners but is useful to design agroecological systems (Favrelière et al., 2020), specifically as pesticide reduction is one of the most widespread issues in agroecological transition. Third, with the aim of sharing know-how from innovative practices, and to foster systemic reasoning, the EBR, a chronological diagram, is composed of experiential learning from the implementation of an agroecological system in a precise agricultural situation. We wanted these resources to be adapted to diverse forms of agriculture that promote natural regulation and therefore less reliance on fuel and chemical-based inputs. Therond et al. (2017) propose three types of agricultural system, as opposed to two in the current conventional versus organic classification, "considering the role of ecosystems services and external inputs": chemical input-, biological input-, and biodiversity-based farming systems. Our resources are particularly adapted to the last two types which involve redesign, since present dominant systems are based on extensive use of synthetic inputs in western countries. We also built these three types of resources with the intention that they would be complementary in their use.

2.3. User tests of resources prototypes

We conducted 12 case studies in France to test the three knowledge-structured prototypes with targeted users: a) designers and facilitators of design workshops who were likely to draw on these resources in their design process, and b) contributors producing one or several resources, who hold knowledge and experience, and were either designers themselves or had already supported design processes (Tableau 7). Based on user-oriented design (Darses and Reuzeau, 2004), we first organized user tests to introduce users to the resources, here designers of cropping systems within design workshops (from C1 to C6) in order to create "a dialogue" between users and work-like situation (Cerf et al., 2012a). The facilitators of the workshops became acquainted with the resources, which were then presented to the designers participating in the collective workshops. We asked both of them how the resources could fit in their real work situation, for instance what the resources could or could not do to support their activity, the way in which they imagined their use, and the difficulties encountered in their understanding. We then implemented user tests with contributors in both individual and collective sessions as stakeholders that hold science-based and/or experience-based knowledge (from C5 to C12), to write with them the content of some resources on specific topics. Experts were either technical advisors (C5, C6, C10, C11, C12), pilot of an experimentation in a research institute (C8), teachers (C12) or researchers (C7, C9). Furthermore, the composition of the groups of contributors varied between the cases studied: either advisors only, belonging to the same institute (C11) or not (C5), or a group of more diverse stakeholders (e.g. teachers and researchers in C12). They were either designers themselves or they had already facilitated design processes.

The data collection took place between February 2019 and June 2020. The case studies differed in terms of design goals (e.g. broad or specific), designers and contributors participating (e.g. farmers, advisors, experimenters, researcher), objects to be designed (e.g. cropping systems, crop management systems, or one technique), and types of agricultural system (biological input- and biodiversity-based farming systems). Case study C1 brought together farmers and advisors of a local Chamber of Agriculture, to pursue the design of conventional cropping systems able to reduce water pollution in a catchment area (a previous design workshop had already taken place 15 days earlier). In the case of C2, several farmers participated in a design workshop to collectively build a cropping system for one farmer in a no-till system in one workshop, to manage weeds without glyphosate (a herbicide widely use in France that will be banned within three years). In C3, various stakeholders (composed of farmers, advisors and researchers) participated in one workshop to explore several agricultural practices for cultivating without glyphosate, in mixed crop-livestock systems. In C4, advisors and teachers discussed various existing resources, including the EBR, and described agroecological cropping systems implemented to reduce the use of pesticides. In several cases, tests with contributors were organized to build BBR on diverse pests: wireworm in C5 *(Agriotes lineatus),* thistle in C6 *(Cirsium arvense)*, pollen beetle in C7 *(Meligethes aeneus),* carpocapse in C8 *(Cydia pomonella),* and gall nematode in C9 (*Meloidogyne spp.)*. In C10, advisors and members of one working group on crop mixtures, belonging to diverse R&D organizations, built a FBR with various technical options to design an intercrop. In C11, advisors of several local Chambers of Agriculture shared alternative strategies to manage weeds with minimum herbicide use, to build a FBR. In C12, meetings were held with stakeholders to review various forms of EBR: one meeting with advisors of several local Chambers of Agriculture with the objective to reduce the use of glyphosate, and two meetings with teachers aiming at managing pests with low amounts of pesticides. These three meetings brought together designers and people not involved in this specific design project. Discussions were recorded when authorized.

Tableau 7. Description of case studies with users (from C1 to C6) and contributors (from C6 to C12) around knowledge-based resources: the function-based resource (FBR), the biology based-resource (BBR), and/or the experience-based resource (EBR). Due to the covid-19 crisis, videoconferencing systems have been used in some cases (C4, C9, C12). APAD: association for sustainable agriculture, CIVAM: centers for initiatives to promote agriculture and rural areas, GIEE: environmental and economic interest groups, GEPACO: knowledge exchange and sharing groups, within the French DEPHY Ecophyto network, IFV: French institute for vine and wine, INRAE: national research institute for agriculture, food and environment.

	Design goal to be reached	**Institution and location**	**Type of users**	**Time scale of data collection**	**Knowledge-structured resource**
C1	Reduce water pollution in a catchment area	Local Chamber of Agriculture – Normandy	Designers: farmers	One day meeting	FBR
C2	Manage a glyphosate-free cropping system (herbicide)	Local Chamber of Agriculture – Normandy	Designers: farmers members of GIEE	One half-day meeting	FBR
C3	Manage a glyphosate-free cropping system (herbicide)	APAD –Hauts-de-France	Designers: multi-actors (farmers, advisors, researchers)	One half-day meeting	FBR
C4	Reduce the use of pesticides	Regional and local Chambers of Agriculture and agriculture secondary school	Designers: multi-actors (advisors, teachers, teacher-researchers, researchers)	One half-day meeting (by videoconference)	EBR
C5	Control wireworms *(Agriotes lineatus)*	AGT-RT –Hauts-de-France	Designers: advisors	One half-day meeting	FBR, BBR
			Contributor: advisor	One day meeting	FBR, BBR
C6	Control perennial weeds *(Cirsium arvense)*	AGT-RT –Hauts-de-France	Contributor: advisor	One hour meeting	BBR, EBR
C7	Control pollen beetle (*Meligethes aeneus)*	INRAE – Paris	Contributors: researchers	2-hour meeting	BBR
C8	Control Carpocapse *(Cydia pomonella)*	INRAE – Valence	Contributors: pilot of experimental unit	One half-day meeting	BBR
C9	Control gall nematode (*Meloidogyne spp.)*	INRAE – Avignon	Contributors: researcher	2-hour meeting (by videoconference)	BBR
C10	Introduce crop mixtures in arable cropping system and vineyards	Members of GEPACO group – whole of France	Contributors: advisors of IVF, CIVAM	One half-day meeting	FBR

C11	Control annual and perennial weeds with a minimum of herbicide use	Regional and local Chambers of Agriculture – Normandy	Contributors: advisors	One half-day meeting	FBR
C12	Reduce the use of pesticides in arable cropping systems	Regional and local Chambers of Agriculture Bourgogne-FC and agriculture secondary school	Contributors: advisors and teachers	Three half-day meetings (by videoconference)	EBR

3. Results

3.1. Features of knowledge-structured resources to support design

3.1.1. Description of the function based resource

The *function-based* resource (FBR), also called an *exploration tree,* shows a range of generic technical options for reaching a design goal (Figure 21). The proposed FBR includes reformulations of the design goal in terms of functional descriptions of what has to be achieved. For each design goal (tree head), several alternative functions contributing to the goal are identified (tree branches). Alternative techniques contributing to these functions are then proposed (tree leaves), in a decontextualized form. Functions are worded with a verb expressing an effect on a component of the agrosystem (e.g. disturb the pest and/or deplete soil seedbank), or on ecological processes within the agroecosystem (e.g. inhibit weed germination). As an example, to control pests with low amounts of pesticides (here broad design goal), the designed FBR describes the technical options at different time and space scales: act directly on the pest across the whole crop cycle, control the pest through actions on the crop (e.g. cash crop, cover crops, intercropping), or manage the pest through management options at landscape scale or over several years (see Figure 21 for the example on the control of weeds with low herbicide use, in C1). In this FBR, we documented the functions in a homogeneous generic way in order to encourage new ideas of techniques for carrying out these actions: deplete initial pest population (soil seedbank), disturb the pest, and destroy the pest. These terms can easily be adapted to various pests, whether they be weeds, insects or diseases, thus conferring a generic feature to this FBR, a priori applicable to various stakeholders. To enhance the exploration process, we structured the knowledge within the FBR according to non-deterministic links: each function was associated with several alternative techniques. For instance, in the FBR generated to manage weeds with low levels of herbicide use, several alternative techniques were suggested to increase crop competition against weeds (function) through the limitation of light availability (function): changing the sowing density or the row spacing, and/or growing smothering species such as hemp, and/or growing a crop mixture, and/or maintaining a permanent cover crop, etc. (Figure 21). Some techniques appear several times in the FBR: for instance, the mowing technique is mentioned to destroy the pest either mechanically in the field, or on the field border to limit the introduction of weed seeds from outside the field (Figure 21). In this FBR, there as few modular links as possible, so that a single technique does not fulfill numerous radically different functions. As this tree was proposed to stimulate exploration, the functions and techniques written in the tree were identified either from scientific knowledge, or from already implemented practices identified by on-farm innovation tracking or else tested at experimental stations (e.g. mixture of a cereal with a grain legume), or else from concepts imagined from the targeted functions, depending on the designer's knowledge (e.g. not fully stabilized knowledge ; cattle grazing cash crops; thermal weeding in crop production). These trees are not intended to present all possible ways to reach the design goal (we assume nobody can do that). Instead, they provide a wide diversity of functions and techniques aimed at stimulating the design of solutions (either choosing among those described, or inventing new ones) by the designer becoming acquainted with them. Last but not least, the FBR represents a non-hierarchical inventory of alternative functions and techniques. For the user tests in the various case studies, this resource was developed for various design goals: either broad (e.g. reduce water pollution in C1) or specific (e.g. control thistle in C6), and at diverse scales: at the scale of the cropping system (e.g. limit nitrogen leaching in C1), and at the scale of the crop management (e.g. introduce crop mixtures in C10).

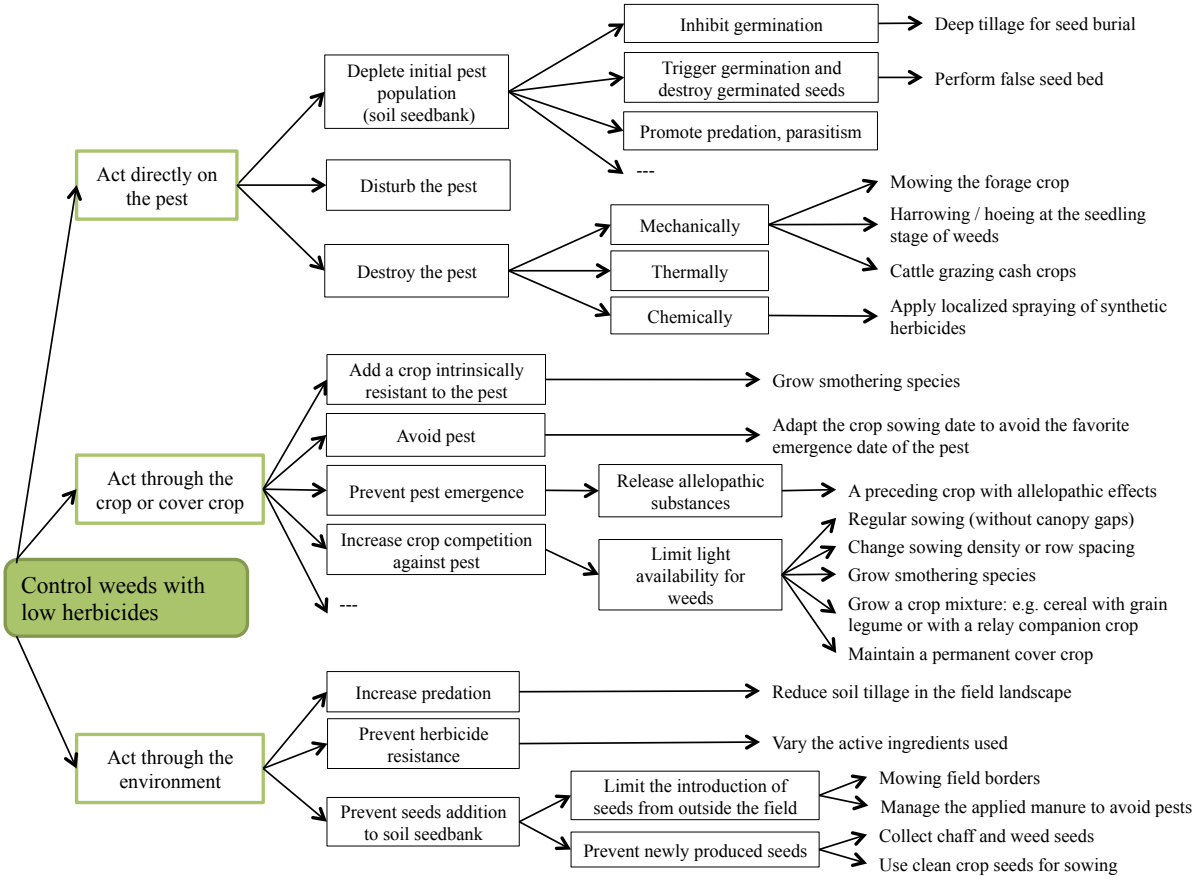


Figure 21. An example of the *Function-based* resource (FBR) in C1: *exploration tree* to control weeds with low herbicide levels (tree head), showing alternative functions (tree branches framed) and alternative techniques (tree leaves). We built the tree to synthesize the existing exploration process of the group of farmers in C1. It provides a non-exhaustive and non-hierarchical inventory of functions and techniques to reach this objective, to which others can be added (ellipsis).

3.1.2. Description of the biology-based resource

The *biology-based* resource (BBR) is a table dedicated to one specific pest, either a weed, or a disease, or an insect, and structured by its chronological biological cycle (see Figure 22 on the example of pollen beetle, in C7). The biological knowledge chosen to be written in the table concerns life cycle characteristics and functional traits of the pest, that have been shown to be useful to design strategies to control the pest (e.g. seeds' longevity in soil, to decide plowing frequencies; capacity of one flower to produce extra floral nectar, to be introduced in flower strips aiming at feeding natural enemies). For each biological stage of the pest (left column), several alternative functions, contributing to control of the pest at each stage, are identified (mid-column), and alternative techniques affecting these functions are proposed (right column). Functions are formulated through a verb expressing an effect on the pest at each biological stage (e.g. destroy larvae, promote parasitism, repel adults) or on ecological processes of the agroecosystem (e.g. inhibit pest reproduction). As for the FBR, functions are likewise associated with one or several techniques. For example, several alternative techniques could be applied to repel the pollen beetle adults (*Meligethes aeneus)*: introduce attractive crops in field borders and/or introduce an early flowering cultivar of rapeseed inside the field and/or introduce a non-sensitive crop, etc. (Figure 22). We built the BBR to shed light on the links between biological knowledge, functions and techniques. For instance in C9, the contributor of the BBR insisted on the average life cycle of four weeks of gall nematode (*M. Incognita*) in summer, as a key element to design farming techniques to interrupt its cycle. One effective function is to attract the larvae in roots of specific attractive plants (e.g. by introducing forage sorghum during summer as an attractive cover crop), and then destroy the trap-plants, including the roots, before the egg production (destroy sorghum within three weeks). Here, biological knowledge sets off the design of a technique, and thus enlarges the design space. As observed in the different cases studied, some biological knowledge remains unknown to most designers and is held by only a small number of individuals (depending on designers' knowledge-base). We also wanted this resource to show alternative techniques over time, since several techniques may act on the pest throughout its biological cycle (e.g. not only techniques to limit pollen beetle adults when they are visible and cause damage to rapeseed, but also techniques aiming at limiting the population of pollen beetle larvae, so as to reduce the population of adults the following year). We introduced a calendar in the BBR since chronological reference is useful for farmers, who reason their actions by positioning and organizing them along time. Techniques act either at operational, tactical or strategic levels; their effects are respectively achieved within the crop cycle (e.g. adapt nitrogen fertilization to promote the ability of the crop to compensate for a pest attack), or in the short term (e.g. introduce attractive plants on the field borders to pull adult pests), or in the long term (e.g. lengthen the period between two rapeseed crops to break the cycle of the pests on this crop). As for FBR, techniques were chosen among scientific studies, or among those already implemented by farmers (even pioneering ones) or by experimenters (e.g. introduce attractive plants on the field borders), or were only concepts imagined from the targeted functions (e.g. not fully stabilized knowledge ; choose a cultivar with thick flower buds) that might facilitate the emergence and testing of solutions. And, similarly to FBR, BBR proposed a non-exhaustive and non-hierarchical inventory of functions and techniques.

Biological stages of pollen beetle *(Meligethes aeneus)*	**Functions**	**Techniques or combined techniques**
J F **M** **A** M J J A S O N D **Emergence and reproductive phase of the adult** Adults arrive early April on rapeseed. They move rapidly (1 to 3 km/d) and fly in response to stimuli: visual (yellow color) and olfactory (emission of volatile chemical compounds). Adults puncture flowers buds of rapeseed to feed on pollen, causing their abortions. Females lay their eggs on flower buds.	Determine the level of infestation	- Install traps (e.g. yellow bowl)
	Repel the adult	- Introduce attractive crops with early flowering date, on the field borders (e.g. turnip rape) - Introduce a small proportion of early flowering crop or cultivar inside the field (e.g. ES Alicia rapeseed) - Introduce non-sensitive or repellent crops such as legumes
	Limit egg-laying	- Choose a cultivar with thick flower buds (under test)
	Promote the ability of the crop to compensate	- Adapt nitrogen fertilization to allow the crop to produce new flower buds and secondary ramifications
J F M A M J J A S O N D **Larval phase** Eggs hatch 4-6 days after laying inside flower buds. The larvae develop and feed on the pollen of rapeseed flowers without causing damage to the crop.	Destroy the larvae	…
	Promote parasitism to limit the population the following year	- Install perennial flower strips to promote the presence of parasitoids (e.g. Tersilochus Heterocerus) …
J F M A **M** **J** **J** A S O N D **Nymph (few weeks)** - mid to late May: larvae drop to the ground and pupate - mid June: new adults fly to feed on pollen from other plants and reach overwintering sites.	Expose to predators	- Install perennial flower strips to promote the presence of generalist auxiliaries (e.g. ground beetle, spiders)
	Disturb the pest life cycle	- Avoid the introduction of a rapeseed crop close to wooded or semi-natural areas (even if these areas are favorable breeding grounds)
J **F** M A M J J A **S** **O** **N** **D** **Overwintering of the adults** From the end of summer to the beginning of winter, adults overwinter in the soil, or the litter of leaves in wooded or grassy areas. Fungi, such as *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*, infect pollen beetle.	Promote parasitism	…
At the scale of the cropping system	Break the pest cycle	- Increase the period between two rapeseed crops

Figure 22. An example of the *Biology-based* resource (BBR) in C7, dedicated to controlling pollen beetle (*Meligethes aeneus*). It is structured according to biological stages of the pest (left column), shows several alternative functions contributing to control of the pest at each stage (mid-column), and identifies alternative techniques affecting these functions (right column). It provides a non-exhaustive inventory of functions and techniques to control pollen beetles.

3.1.3. Description of the experience-based resource

The *experience-based* resource (EBR) shows a systemic combination of different articulated practices to achieve one or more objectives that are desired and challenging, in a specific agricultural situation. The EBR depicts the farming practices implemented by a pioneer farmer or an experimenter under specific local constraints (e.g. pedoclimatic and socio-economic context). This resource provides a visual representation of the chronological elements (successive crops and/or practices applied) of the described object: part of either a cropping or a crop management system, as proposed by Reau et al. (2016) in their "decision scheme" (Figure 23). As mentioned above, this time-course organization of the practices is highly operational for the farmers, as it corresponds to their calendar of action. The information given in this resource was chosen and formulated on the basis of observations in design workshops, to help designers to decontextualize the site- and time-specific solution experienced, described as the agronomic logic of the pilot (farmer or experimenter), thus facilitating its adaptation to a new agricultural situation. To that extent, it articulates 6 elements: (i) the techniques and their combination, to reach the global objective; (ii) the reasons why the manager who experienced the described system chose to implement each of the practices, or the combined practices, to reach particular sub-objectives contributing to the global objective (e.g. alfalfa is grown to ensure competition against this weed, and is regularly cut, thus depleting thistle' root reserves); (iii) the conditions of success and failure of the techniques, which guarantee the achievement of their expected effects, sometimes identified through the implementation and assessment of variants of the technique along years or across fields (e.g. indicators used by the manager to trigger a specific technique, hoeing, when the thistles were at 6-8 leaves stage, the compensation point); (iv) the characteristics of the situation that explain some of these options (e.g. the choice of nyger to be sown in summer, as this species is more resistant to drought); (v) the evaluation criteria the farmer defines from the implementation of each technique, as contributing to the global objective (e.g. the crop or the environment states to be reached: should not appear in his field after alfalfa, as alfalfa is grown to ensure competition against this weed); and (vi) the functional interpretation of the links between the 5 previous elements, in order to unravel systemic interactions. We illustrated this EBR resource to synthesize a cropping system designed by an organic farmer to control thistle (specific design goal), consisting of farming practices successfully tested by peers who attended the workshop (Figure 23). The farmer-designer combined several techniques over time, with this aim. First, he had already introduced alfalfa in his cropping systems to cover the soil and exhaust thistle (by cutting both alfalfa and thistle, thus forcing it to deplete root reserves for regrowth). If the thistles do not reappear after the two years following alfalfa, he advised to do nothing else in particular. Secondly, the farmer planned to implement solutions to exhaust thistle at the stage at which the root reserves are at their lowest. To leave time to implement several soil tillage operations in summer, while thistle root reserves were at their lowest, the farmer introduced spring pea crop as it is harvested early (Figure 23). Right after the spring pea harvest, he planned to introduce Nyger as a cover crop to cover the soil surface during the post-harvest period. To increase the competition between the cover crop and weeds for light, he planned to sow the Nyger very early (before August 15th), to ensure a good growth in the early summer (Figure 23). He chose Nyger for its drought resistance (frequent in summer in his situation). Thirdly, the farmer planned to introduce successively several crop mixtures to ensure a good cover of the soil surface (Figure 23).

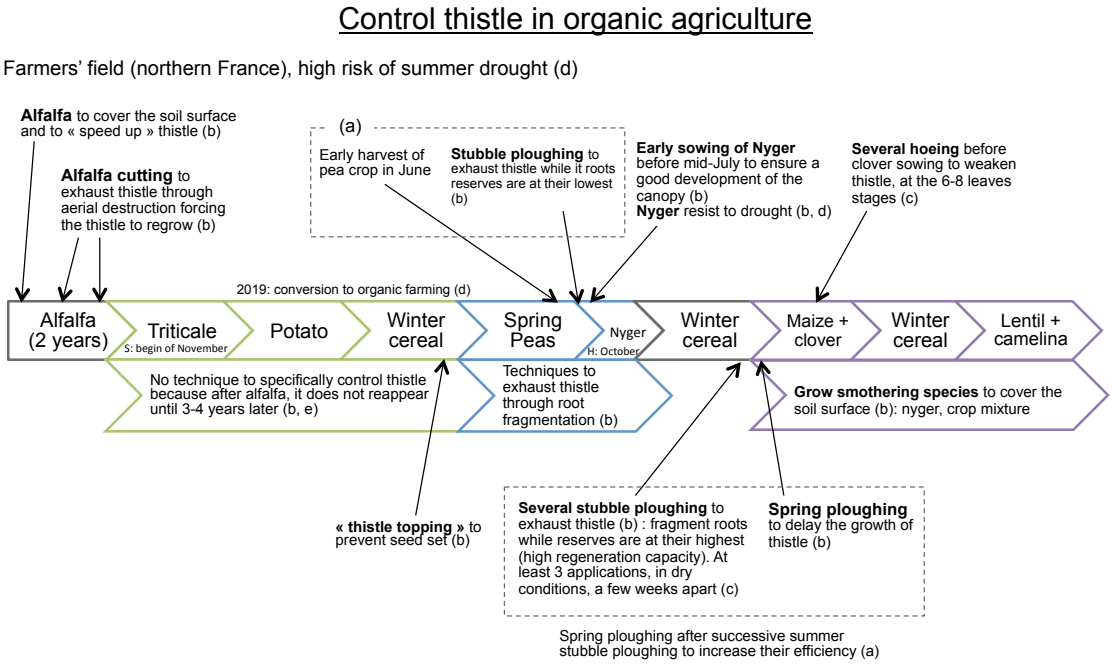


Figure 23. An example of Experience-based resource (EBR) designed in C6: cropping system designed to be implemented by a farmer in northern France to control thistle in organic agriculture, based on several successful techniques tried and tested by peer farmers. This diagram shows: techniques (in bold), combined techniques (framed, a), reasons why the techniques have been chosen by the farmer (b), conditions of success or failure (c), the characteristics of the situation that explain some of these particularities (d), and the evaluation criteria (e).

3.2. Results from prototype tests with users : resources support design and facilitators in their multi-facet explorations

The user tests of the resources developed with designers and facilitators showed several uses of the knowledge-structured resources: use by facilitators to prepare and manage exploration during a design workshop or a training session (Section 3.2.1), or by facilitators and designers to support divergence, for instance through the reuse of existing solutions (Section 3.2.2), or by facilitators to document collective exploration, in order to stimulate exchanges over time, within the same group of designers (Section 3.2.3).

3.2.1. Facilitators used the resources to prepare and manage exploration during a design wokshop, without showing the whole resource

Facilitators of design workshops (whether advisors or teachers) envisioned the use of one or several resources to foster the exploration of solutions. After a precise and in-depth analysis of each one, they all concluded that they planned to use all three resources to both prepare and manage a design workshop or a training session with farmers (C5, C11, C12). First, advisors proposed to use both the FBR (C11) and the BBR (C5) to prepare a workshop with farmers. They said that these resources would allow them to identify and collect numerous ideas, thus enlarging their own knowledge base (Table 8). Based on their previous experience, they claimed it could be fruitful for

them to become acquainted with the various biological characteristics of the life cycle of the pests that would be considered during the workshop, in order to share this knowledge with the participants during the workshop and thus to further exploration (C5). Second, users were considering using this FBR as back-up support, in different ways, during the exploration phase of workshops. For example, a facilitator proposed to deepen a technique mentioned by a farmer to reach the design goal, by identifying one or several function(s) reached by the said technique (C12), and then by asking participants to find other techniques, or combined techniques, that could fulfill the same function (thus moving across the FBR from the right to the left). In this case, the FBR was expected to help facilitators as back-up support to propose both functions and techniques that were not spontaneously imagined by participants, thus enlarging the range of alternatives for the designers. Another proposition from an advisor was to present only the functional side of the FBR (the left part of the tree) to farmers attending a training session, and ask them which techniques or combined techniques could fulfill the various functions (Quote 1, Tableau 9). This would encourage them to explore various solutions to affect the functions, and not only to propose techniques known by them as affecting the global objective (C5, C11).

3.2.2. Designers and facilitators presented the resources to stimulate exploration

Observations showed that facilitators mobilized resources to support divergence, which is particularly difficult when farmers are set on the techniques they already know. Facilitators mentioned that they could present one or several resources during the design process to suggest alternative technical options to the participating designers with FRB and BBR or implemented solutions with EBR (as source solutions), with a view to stimulating exploration (C3, C4, C6). For instance in C3, the FBR (Figure 21) was presented during the design process to designers who were building solutions to eliminate glyphosate use in conservation agriculture cropping systems, considering that pre-sowing tillage and in-crop mechanical weeding are prohibited. In this case, the FBR showed not only existing but also hypothetical solutions related to diverse types of systems (e.g. organic systems, no-till systems). Participants of the design workshop bounced back on techniques proposed in the tree (e.g. in mixed crop-livestock systems, the cover crop is to be mulched and mown alternatively). Strongly engaged in agricultural conservation, they also expressed their surprise to see in FBR that one of the techniques proposed to deplete soil seedbank was false seed bed, since triggering germination through soil tillage is inconsistent with conservation agriculture principles (Figure 21). They discussed the favorable conditions for seed germination (light and humidity), and argued that other techniques could fulfill the same function (e.g. deplete soil seedbank: seeds in the topsoil are exposed to predation by ground beetles), thus completing the FBR and enlarging their design space. In C1, farmers collectively built cropping systems within one catchment area, and the sharing of solutions from diverse types of agricultural systems (biological input- and biodiversity-based farming systems) or agricultural production (arable and mixed crop-livestock systems), represented in the FBR shown to the participants, also proved to benefit divergence. Moreover, we found that the identification of generic functions in FBR stimulated designers in their exploration: e.g., the FBR mobilized in C1 aimed at controlling pests, and especially insects, mentioned one generic function, which was to disturb the pest, for example through visual or olfactive disturbance (Figure 21). By definition this function is not adapted to weeds, but it gave the designers some ideas: they proposed to diversify sowing dates across years, a technique known to disturb weed emergence (Quote 2, Tableau 9).

Findings showed moreover that the EBR supports both convergence and divergence. In C4, advisors (as facilitators) imagined their use of the EBR to support the reuse of previous solutions, explored in other situations, and to transfer some aspects of the source solution to the situation at hand (analogical reasoning). They believed EBR could orient farmer-designers to select examples that already satisfied farmers who had conditions and constraints resembling those of the situation under design, and get access to evaluation indicators, thus facilitating convergence thinking (Quotes 3 and 4, Tableau 9). To do so, they assumed that the features of the agricultural situation of the source solution should be described in the EBR, although only those that determined the technical choices made and the results achieved (e.g. choice of Nyger due to high risk of drought in summer). According to them, the description of the conditions of success or failure that had been assessed by the innovative farmer was crucial knowledge (Quotes 5, 6 and 7, Tableau 9). It allowed for convergent exploration by facilitating adaptation to the situation at hand, and by indicating the precise characteristics of the implementation that would be required in the new situation to reach the targeted result (Tableau 8). They affirmed that the EBR could motivate participants to test new techniques, as they saw that others, among their peers, had already implemented them with success (Quote 8, Tableau 9). Last but not least, the description of an implemented solution in the EBR (either a farming practice, combined practices, crop management or cropping system) also fostered divergent thinking by designers who did not previously know about this solution, or the issues surrounding its implementation (Tableau 8).

3.2.3. Facilitators used the resources to formalize the outputs of an exploration within a group

The FBR and EBR were also used to formalize the outputs of an exploration process; synthetizing and documenting the solutions explored in a design workshop as well as visualizing the designed object (C1, C2, C6, C12). During the workshops C1 and C2, the techniques introduced in each cropping system under design were identified in color by the facilitator in the FBR, thus also displaying the techniques not mobilized in the designed solutions. In C1, in the first workshop without the use of the FBR, farmers designed two cropping systems to limit winter nitrogen leaching, and to be implemented on a farm within a catchment area in Normandy (north-western France). The same group of farmers attended a second workshop, fifteen days later, to pursue the design process using the FBR which was documented by the facilitator. During the first workshop they mainly introduced techniques to enhance crop nitrogen uptake in autumn. For example, they decided to sow a long-term cover crop very early, right after the wheat harvest, to facilitate its growth so that it would quickly cover the soil. Farmers also discussed the introduction of short-term cover crops between wheat harvest and winter barley sowing, which is rarely the case in practice due to a short time period. They also debated the introduction of permanent cover crops, mixed with cash crops, and built either chemical or mechanical solutions to control the permanent cover crop in order to limit its competition with the cash crop (e.g. emergence stage of corn is sensitive to competition). All these technical solutions had been identified in the pre-existing FBR by the facilitators, after the workshop, and the resource was then presented to the same group in a second workshop. This visual display promoted new discussions between the farmer-designers about the techniques avoided during the previous workshop, and led them to pursue the design and raise debates on a subject that had been set aside during the first worskhop. Farmers discussed how their fertilization practices throughout the cycle could lead to an excess of mineral nitrogen in the soil at harvest, that would be leachable during winter. They discussed their current use of an available decision-support tool (called Farmstar), and whether it would help them to better manage their nitrogen applications to limit this excess.

Tableau 8. Features of the three knowledge-based resources to promote divergent and/or convergent thinking: the function-based resource (FBR), the biology based-resource (BBR) and the experience-based resource (EBR)

Features of cognitive resources	FBR	BBR	EBR	Design support along the design process
Provide a functional description of the design goal	X		X	Reformulation of the design goal
Provide links between functions and techniques: one function can be associated to one (deterministic links) or several techniques (no deterministic links)	X	X		Exploration - Divergent thinking
Display biological knowledge		X	X	Exploration - Divergent thinking
Show and analyze experiential knowledge from innovative implemented practices			X	Exploration - Divergent and convergent thinking
Show and unravel systemic interactions			X	Exploration - Convergent thinking

3.3. Results from prototype tests with contributors : issues of capitalisation

Contributors discussed issues regarding completeness and validity of the knowledge-structured resources as both limits and encouragements for others to contribute. The information given in FBR and BBR is not exhaustive: some functions were not associated with any technique. For instance, to date, no solution was known by the contributor in C7 to promote parasitism of pollen beetles during winter by fungus (Figure 22). The interviewed contributors believed that it could encourage other contributors to fill the blanks, if known. Moreover, in all cases, they expressed concern about the description, in the FBR and BBR, of techniques and functions under investigation, because their effects to reach the targeted goal were unknown, which meant that this was not fully stabilized knowledge (Section 2.1). Some contributors assumed that the resources should help farmers to easily discern between highly effective and less effective techniques (and, to some extent, unknown effects), and discussed using a color code to distinguish between them (Quotes 9 and 10, Tableau 9). For instance, in C5, to control wireworms (*Agriotes lineatus*), the contributors identified techniques that are being studied as biocontrol methods, such as the introduction of predators into the soil, or the nematicide effect of biofumigation, but the group had no information about their effectiveness (e.g. nematicide effect of castor oil cake). Others mentioned that the efficiency of the technique would depend on the farmer's target, which could vary considerably (for example, as some farmers wished to see no weeds in their fields, while others accepted the presence of weeds, they would not all assess the proposed techniques on the same basis, Quotes 11 and 12, Tableau 9).

Moreover, the process of resources production, which was collective, helped to clarify and complete its content (e.g. formulation of the design goal Quote 13, Tableau 9). Contributors collectively reviewed resources that had been built by previous contributors (C5 and C11 in face-to-face meetings, C12 in videoconference), thus enriching them. For example, in C5, advisors revised the BBR aimed at managing wireworms in legume production. One of them shared his experience-based knowledge about the biological cycle, and thus completed the BBR with supplementary techniques to control this pest (e.g. sow barley between rows of maize to protect root development of maize). This biological knowledge was shared only with participants of the working session, yet was identified by them as essential in designing new control strategies. They therefore agreed on the importance of sharing it widely within this type of resource. In C12, while reviewing the EBR, we found that the

questions between participants improved both the understanding of the source solution described to control weeds without glyphosate, and its formulation in order to facilitate reuse of the EBR by other designers. The expected results were clarified (e.g. satisfaction indicators of the pilot farm who experimented with the described solution: no emergence of ambrosia or of perennial weeds), as were the conditions used to trigger the techniques (e.g. apply a roller at the flowering date of the cover crop, which is a more sensitive stage). In C11, during a collective session between advisors aiming to build a FBR dedicated to controlling annual and perennial weeds with a minimum of herbicide use, the participants had to combine cards describing either pre-defined functions or else techniques. During the session debrief, participating advisors believed that the use of cards accelerated the building of the FBR, and refrained from suggesting further functions and techniques, that were not included in cards (Quote 14, Tableau 9). These interactions allowed debates and learning processes between them. We also found that the review of the EBR was enriched in C12 with comments from participants who had not attended the design workshop, and needed supplementary information to understand.

Contributors also debated about the value-laden nature of the resources. As explained in Section 3.1, we deliberately chose to enhance divergent exploration, by depicting, in the FBR and BBR, alternative solutions relating to different types of agricultural systems or production systems. We found that several contributors were reluctant to integrate solutions from diverse, and possibly incompatible, agricultural systems. For instance, in the BBR used in C5, advisors depicted only techniques relating to vegetable production, as they considered that farmers would not be interested in solutions relating to other production systems, such as arable ones. Similarly, in C3, while building the FBR to prepare a workshop with farmers in no-till systems, the facilitator decided to maintain but to shade solutions that did not belong to conservation agriculture. He/she considered they did not match the guidelines of the association (no soil scratching allowed) or farmers' commitment toward no-till. The facilitator in C1, on the other hand, built a FBR to synthetize farmers' exploration during a workshop, and to encompass all solutions relating to diverse types of agricultural systems (biological input- and biodiversity-based farming systems) and production systems, all in the catchment area. Similarly, in C10, in a FBR, the advisors brought in alternative solutions from various agricultural systems, such as arable cropping systems and vineyards. This group thus brought together voluntary actors around the introduction of crop mixtures, all belonging to a French DEPHY Ecophyto network, which led them to build the resource in a generic way (e.g. they chose generic functions peculiar to all or only one agricultural system).

Last but not least, contributors pointed out that both the FBR and the BBR did not consider interactions between functions to reach the design goal (Table 2; Quote 15, Tableau 9), or between practices to reach one function, or between practices and the environment. They agreed on the value of the EBR as a complementary resource to highlight these interactions. They all mentioned that the identification of such consistent interactions, needed to reach the targeted goal, is not an easy task (C4, C12). For instance, a contributor in C12 noted that, to control grass weed, the wheat sowing date was postponed till the beginning of November. Participants decontextualized this situated knowledge and highlighted an essential interaction between two practices to control grass weed: the farmer introduced stubble plowing several times during the intercrop period (false seed bed), right before the sowing of wheat, which was thus delayed. In C4, advisors and teachers mentioned that the ideas put forward in the exploratory part of a design process, during a workshop, never concerned a whole cropping system (even if the object to be designed was a whole cropping system). Since there was no attempt to duplicate an entire cropping system already implemented elsewhere, they argued about the appropriate scale of the object that was relevant to be detailed in the EBR. They proposed that either a unique farming practice, a consistent combination of practices, a crop management system, or a small part of a cropping system (sub-systems, e.g. a crop with its preceding and following crops) should be relevant

and more useful to be described in the EBR (Quotes 16 and 17, Tableau 9). To summarize, we found that these resources fostered a learning process, such as learning about systemic reasoning, and encouraged contributors to evaluate their solutions and justify their choices (Quotes 18, 19 and 20, Tableau 9).

Tableau 9. Selection of exchanges during the users tests

Description	Quotes
Quote 1 Section 2.2.1: Present the functional side of the FBR (left part of the tree)	I'd show the exploration tree without the techniques, only the objective and the functions, and ask farmers "what techniques are you using today, or planning to use?" (C11)
Quote 2 Section 2.2.2: Generic functions foster divergent thinking and enlarge the search space	"I think it's a pity that we didn't carry on the discussion about the "disturb the pest" function, because I believe it's an interesting option that's rarely discussed, to diversify the species and the sowing dates inside the crop rotation, to insert "two winter crops – two spring crops" in succession, all of which disturb the pests." (C1)
Quotes 3 and 4 Section 2.2.2: EBR fosters convergent thinking	"I think it is important to get a better understanding, because if you have a stony soil, or if you are located in a breeding area, it gives additional detail on the constraints or on the success factors of what happened." (C12) "During design, while searching for experience-based resources, I will not necessarily use a geographical search criteria. I will use a soil agronomic potential search criteria, or a criteria around agronomic constraints, like a soil that can be drained, a stony soil. The climate can also be an influencing factor." (C12)
Quotes 5, 6 and 7 Section 2.2.2: Formulation of the conditions of success or failure	"The success or failure factors could be contextual elements, or elements related to the implementation, there can be so many different things that make an experience a success and this really needs to be highlighted when sharing knowledge." (C12) "What does the field look like? What was noticeable in the observations made? What the field looks like is very impactful. This is what we would need. The different key states of the field, key moments when the field should look like this or like that…" (C12) "It can be interesting, the notion of annual rate of decline of weed, which matters to farmers engaged in agricultural conservation. In no-till farming surface seeds are in the topsoil, so weed management will be easier with the increase of the annual rate of decline." (C3, preparation session)
Quotes 8 Section 2.2.2: The reuse of experiences	"I facilitate local communities of farmers. Because we share experiences that are closer to them, it is easier for them to think how they can be reused. We often hear "it's not the same where I am" " (C12)
Quotes 9 and 10 Section 2.3: Use of color code to determine the effectiveness of techniques to achieve a function or objective	"A color code could facilitate its use, indicating if the technique is rapidly accessible in my fields, because I own some mechanical tools, and other techniques, for instance thermal destruction is on the contrary inconvenient, and expensive" (C2) "If I understood correctly, you wrote that early sowing is an effective means to control wireworms, but in organic agriculture the sowing is delayed, to control weeds, warmer soil for faster growth, so you can also adapt the sowing depending on the field. " (C5)
Quotes 11 and 12 Section 2.3: Formulation of the expected outcomes	"Knowing when the farmer is satisfied of the weed management, there are key moments to appreciate that, which can be very specific to each farmer or shared within the community of agronomists." (C12) "I believe it is important when sharing experiences to be specific about the expected outcome, it helps understand the agronomic logic of the people conducting and piloting the cropping system, so that what this experience is about is extremely clear and we can then either adapt it or transfer it elsewhere. The same goes for discussions with farmers about weed management, depending on what they want to achieve in their field, between the farmers wanting no weed at all, or tolerating some, the logic that each farmer will implement is different" (C12)
Quote 13 Section 2.3: Formulation of the design	"Sometimes, farmers have difficulties expressing their own goals, and showing them how others may have written their goals may enable them to

goal	project themselves in terms of their expectations." (C12)
Quote 14 Section 2.3: Use of cards to collectively build the FBR	"Because I had ready-made cards, I didn't really have the opportunity to think by myself, to think it through. I believe that it could be interesting to leave time to search for solutions to the design goal, and only after a while show some ready-made cards to bring in other ideas." (C11)
Quote 15 Section 2.3: Interactions between functions to reach a design goal are not illustrated in FBR	"It's interesting, but we only consider the pest, and then the crop, without discussing the interaction between the two. To control flea beetle, I can't choose the function 4, and the function 3 can be insufficient in case of bad weather conditions." (C1)
Quote 16 and 17 Section 2.3: Appropriate scale of the agronomic object described in EBR	"When designing a cropping system, we do not seek to directly copy/duplicate an cropping system already implemented elsewhere" (C12) "I use elements, components of a system and I like to understand why one component leads to a given outcome, which processes are documented, so that it can be used at a later stage and we know exactly why." (C12)
Quotes 18, 19 and 20 Section 2.3: Resources promote debates and learning processes	"What I liked in the exercise, was the discussion between all of us. It's the exercise of designing the exploration tree that's interesting." (C11) "The results must be clear and precise, as it is important to have an idea of the expected outcome, as well as of the outcomes actually achieved implementing innovative technique" (C12) "To take a cooking analogy, there are specific indicators that my choux pastry is ready, there are indicators on the recipe process and in the end there is the indicator "my pastries were very good", and these are different types of indicators. This is the distinction between process management indicators and outcome indicators." (C12)

4. Discussion

We have organized this discussion into two sections: we first discuss the complementary features of the three knowledge-structured resources to support innovative design toward agroecology (Section 4.1); and then highlight issues about the collective design of such resources, made by several communities of users, either contributors, as designers of agroecological systems, or facilitators of design workshop (Section 4.2).

4.1. Complementary features of cognitive resources to support agroecological system design

We built three design-support resources with specific knowledge structures, to enhance exploration in many ways. In the following, we discuss the importance of the functional analysis to enlarge the design space (Section 4.1.1), and look at the use of expansive knowledge and expansive examples as key elements used by agronomists in the exploration session of design processes (Section 4.1.2 and 4.1.3). We discuss the complementary features of the resources (Section 4.1.4)

4.1.1. Cognitive resources encourage the exploration of new functions

The use of functions in design activities has been studied extensively in the literature, in both the agronomic and the design fields (Gero and Kannengiesser, 2004). The Suh Matrix, associated with rule-based design, is grounded on functional analysis to model an object (Suh, 2001): functions of the object are associated to its components. In our study dedicated to agronomy, components refer to farming techniques or components of the agro-ecosystem (e.g. biological organisms), and functions refer to an effect on a component or an effect on biological, ecological and physico-chemical processes characterizing the agro-ecosystem. However, the functional analysis has been shown to be insufficient to support innovative design. Designers are encouraged to create both new functions and new components, and thus depart from the existing determinisms (Brun et al., 2018). However, the use of function-based reasoning by designers in agronomy is frequent (Quinio et al., submitted; Toffolini et al., 2017; Dumont et al., 2020). While designing innovative practices, farmers or advisors determine: i) the functions that could be supported in the new cropping systems under design, as they play a key role in spelling out the desired objectives; and ii) the technique or the combination of techniques contributing to these functions (Toffolini et al., 2017). Our findings also show that the function-based reasoning successfully enlarged the design space: facilitators encouraged designers to propose unknown technical solutions (or combined farming techniques) targeting a given function, and thus to create new associations between functions and techniques. This is linked to the fact that, in agroecosystems, one function can often be achieved by various techniques (e.g. Verret et al., 2020) and, conversely, one technique often affects several functions (e.g. the multiple functions of legume living mulch intercropped with oilseed rape (Lorin et al., 2016)). Another reason may be the specific characteristics of the objects of agroecology, as "the result of the implementation of agricultural techniques depends on the dynamics of living entities in environments that are themselves highly variable" (Prost et al., 2017). Thus the ability of one technique to fulfill a desirable function is variable, especially due to the interaction between the uncertain and unpredictable environmental conditions and modalities of implementation.

4.1.2. Biological knowledge, as expansive knowledge to foster divergence

We have also shown that functions characterizing an effect on a component of the agro-ecosystem are linked to biological knowledge. The use of biological knowledge, outside the initial knowledge-base of the designers, supports the emergence of new ideas, as previously mentioned by Favrelière et al. (2020) and Toffolini et al. (2017), provided the link between this knowledge and possible techniques can be highlighted. Biological knowledge can thus be seen as expansive knowledge, supporting knowledge restructuration and thus enhancing exploration during the design workshop, as described by Brun et al. (2018) for other types of expansive knowledge. To sum up, innovative design in agronomy is based on the invention of new associations between functions and techniques, and adding, where relevant, biological knowledge to these associations.

4.1.3. Experience-based resource, as expansive example to foster exploration

In the EBR we directly propose examples of solutions (e.g. an entire cropping system, or sub-systems, already implemented by a farmer in a particular situation to reach a desired objective). On one side, we found that EBR could partly help convergence that is to select, adapt, and evaluate solutions to the situation at hand (Cross, 1994). The use of experiential knowledge, from observations and feedback on the implementation of innovative solutions, would help the designer to tailor the imagined solution to his own situation, thus feeding design by action (Schön, 1992). Convergent thinking can be supported by tools other than the EBR (e.g. modeling for an ex-ante evaluation in Colnenne-David and Doré (2015) and Pelzer et al. (2017)). One the other side, EBR also fostered divergent thinking by suggesting candidate functions or components to the system under design. The EBR describes site- and time-specific solutions already implemented by a farmer, which usually cannot be directly implemented elsewhere as it is mainly composed of situated-knowledge. That is why the EBR requires an argued description of the implemented techniques (and not only the list of the techniques implemented), to facilitate its adaptation and transfer elsewhere (as referred as to analogical reasoning). It supports decontextualization process by a generic formulation of the learning from the experienced farmer, as Girard and Magda (2020) pointed out. Such experience-based resources may be derived from on-farm innovation tracking methods, seeking to identify innovative practices of pioneer farmers (Salembier, 2019; Salembier et al., 2016). The agronomic outcomes of this method (e.g. testimonies, agronomic logics underlying actions, ranges of technical options able to reach one target) have been considered as useful to feed the design process (Verret et al., 2020). The complementary knowledge-structured resources proposed in this paper can be considered as standardized frames allowing “trackers” to formalize their outcomes: for instance the EBR could capitalize on on-farm innovations, or the FBR could synthesize the cross analysis of several innovations, as proposed in Verret et al. (2020). The homogeneous form of the proposed resources should facilitate the work not only of designers, as they propose new knowledge in similar forms that are easier to depict/understand in a tool, but also of contributors, as they constitute guidelines to formalize complex knowledge.

We mentioned above that designers used example solutions while exploring, whereas the literature points out that previous solutions could either enlarge or restrict the search space (Jansson and Smith, 1991). Agogué et al. (2014, 2011) showed that the emergence of unexpected properties of the object under design could be enhanced by the use of expansive examples, presented as inspiring solutions. For example, in the "egg task", existing solutions were proposed to participants who were asked to find original ways to ensure that an egg did not break after falling from a high building. The solutions were either restrictive, using classic examples inside designers' knowledge-base (e.g. mattresses on the ground to damp the shock, parachutes to slow down the fall), or expansive, using innovative examples (e.g. using a living device to transfer the egg). In the study, the designers were given expansive examples that were directly feasible solutions, which enhanced the exploration (Agogué et al., 2014). Thus EBR can enlarge exploration, while suggesting solutions outside designers' knowledge-base with unexpected properties, as expansive example do.

4.1.4. Complementary features of design-support resources

The three design-support resources displayed diverse types of knowledge (biological knowledge, functions characterizing the agroecosystem or some of its components, and action-based knowledge) and knowledge structures (e.g. design goal-functions-techniques links, biological knowledge-functions-techniques links, function-effect of the function after implementation of a cropping system). In our study, each resource is related to one mode of representation (exploration tree for FBR, chronological table for BBR, chronological scheme for EBR). We believe this diversity, in term of knowledge nature, knowledge structure and mode of representation, all gathered in the three resources, fosters the exploration process by encouraging designers to invent new associations between knowledge, and to depart from existing determinisms. We mostly investigated the use of each resource individually in several design situations, but our results indicate that the resources have complementary features, and that designers could benefit from shifting back and forth between the three types of resources, which would be facilitated when implemented in a single tool.

4.2. Fostering collective design of cognitive resources

We discuss how exchanges amongst several communities of users, both designers and/or contributors, could support the collective design of the cognitive resources. We highlight issues about both the reuse and the production and revision of resources made by others (Section 4.2.1), and we question the dichotomy between users and contributors (Section 4.2.2).

4.2.1. Issues about inter- and intra-group reuse of the design-based resources, and their production over time

Our findings suggest that the knowledge-structured resources support designers within a group, and revive further exploration over time (use of FBR in C1). We assume that the reuse of FBR by the same facilitator in other design situations (with other designers), or by another facilitator in his/her own design situation, could support and facilitate exploration. However, the user tests captured some issues not only in the direct use of the resources in collective design situations (e.g. to prepare and animate design exploration meeting, to document design process outputs), but also in the production of the resources while anticipating their reuse by other designers. In this respect, user tests showed that both designers and contributors debated not only the completeness and validity of the knowledge depicted in the resources, but also the value-laden nature of the content. Values have been defined as "criteria based on morality, beliefs and experiences, that influence the ways people evaluate and select design solutions" (Détienne et al., 2019; Le Bail, 2020). For instance, we sometimes found divergence over values among designers within a given group: when the facilitator proposed resources including

both till and no-till alternative solutions, some designers considered only no-till techniques as valuable, since they fully supported conservation agriculture (and its principle of no soil tillage). In view of our findings, we consider that the value-laden nature of resources may, on the one hand, expand the design space (e.g. the space of possibilities) as it provides knowledge which is not in the designers' initial base, but, on the other hand, hamper its wide use, when the designer is strictly opposed to the value embedded in the knowledge. The facilitator's role should be decisive in favoring enlargement and controlling impediments to the use of such resources. Similarly, a knowledge derived from one farmer-innovation was sometimes not considered as stabilized by some designers, considering stable knowledge as derived from statistically-proved knowledge from R&D trials, while others considered it as a generative knowledge inspiring the design. Moreover, our findings showed that the proposed resources share knowledge held by diverse stakeholders, scattered within the country (e.g. farmers, advisors, teachers). However, the information sought by designers is sometimes described in terms that differ from those used in the resources, thus restraining its access. It is therefore important to facilitate knowledge sharing by adopting a common vocabulary, accessible to everyone, using clear and readily comprehensible language to describe decisions made by designers (Karsenty, 2001). In this sense, we propose some recommendations to describe the functions in the FBR and the BBR (e.g. starting with a verb).

It also seems important to highlight the fact that the knowledge-structured resources are not self-sufficient, and that it is essential for facilitators of design workshop to strongly support their use (e.g. reformulate functions, change modes of representation, and manage conflicts about values). For instance, we found that facilitators or experts attending design workshops reworded both knowledge and experiences, thus supporting their reuse for design, either before (as in C3 to review FBR) or during the workshop. In this sense, such cognitive resources are only parts of a socio-technical system wishing to promote the innovative design of agroecological systems, through largely sharing the useful knowledge and know-how required.

4.2.2. Questioning the dichotomy between designer-users and contributors

Lastly, to open some perspectives, we discuss the dichotomy between designer-users and contributors. In our study, user tests with designers (using the knowledge-based resources) or contributors (providing the resources with new knowledge) were carried out separately. Regarding the production of the cognitive resources, our findings showed that the involvement of various contributors with diverse expertise (farmers, advisors and researchers, in our case studies), improved the production and review of the knowledge-structured resources. We also shown that contributors not involve in the design project helped the reviewing of resources previously made by others, as promoted by by Karsenty (2001, 1996), for instance to better understand and characterized the described solution in EBR, and unravel systemic interactions. Moreover, sometimes contributors were also designers themselves, or they had already supported design processes. They observed and interpreted the results of their actions, that is, the implementation of designed objects (e.g. farming practices, cropping systems). As owners of situated knowledge, they expressed their difficulty in identifying, formulating and structuring knowledge in both individual and collective production sessions of resources (e.g. especially experiential knowledge from the implementation of complex cropping systems in the field). We thus conclude that the more the contributors participate in design activities, the more they can identify, filter and formulate relevant knowledge for design, while anticipating the reuse of the resources. Indeed, the use of the cognitive resources in design situation was a useful way to procure feedbacks, thus feeding by action the collective and iterative design of resources (Lacoste and Powles, 2016) - as referred as to the reflective conversation described by Schön (1992).

Therefore, it could be interesting to bring designers and contributors together in training sessions to share knowledge and to build such design-support resources that hybridize scientific-based and experience-based knowledge. Online platforms gathering a diversity of outputs, from experiences to technical drawings (Salembier et al., 2020), could support these exchanges. The remaining challenge is to stimulate and facilitate the widely share of such knowledge-structured resources among designers and facilitators, in order to support their design process or design-support activities, and to involve and support contributors in the collective design over time of these resources (improvement loop). Further research could focus on analyzing the interactions between members within a community of practices, and between several communities, and their commitment toward collective design of cognitive resources. One question remains, regarding the impact of the increased use of social media, and the rise of Internet, affecting theses interactions, including farmers or advisors who share past experiences in online forums (M. Prost et al., 2017).

5. Conclusion

This study is based on a user-oriented approach to design knowledge-structured resources for the purpose of supporting divergent and convergent thinking within an exploration process: the function-based resource, the biology-based-resource and the experience-based resource. We shed light on how these cognitive resources were used: designers exploring alternatives, facilitators managing the exploration process within design workshops, or experimenters capitalizing on action-based knowledge. This work aimed at stimulating collective and distributed design of standardized cognitive resources to: (i) widely share situated and generic knowledge; (ii) value farmers' experiences, in a way that enhances their take-up by other farmers-designers, as powerful sources of ideas and opportunities; and (iii) support production of design-support resources in order to stimulate the redesign of farming systems. A remaining challenge is to support the collective production over time of such knowledge-structured resources, and the development and maintenance of resilient communities of stakeholders (both designers and contributors) with diverse expectations and values, motivated by a common goal of designing agro-ecosystems for agroecology. These results open avenues for further research on socio-organizational conditions to support the establishment of such communities of designers and contributors, capitalizing on diverse types of knowledge, and collectively using such resources in the design of agroecological cropping systems.

Chapitre 3 : Favoriser la capitalisation des connaissances pour soutenir des activités de conception de systèmes agroécologiques par le développement d'une communauté épistémique en ligne

Ce chapitre s'intéresse au cas d'étude de la thèse, AGROPEPS-GECO, un outil de capitalisation et de partage des connaissances.

Nous nous intéressons aux utilisateurs de cet outil, c'est-à-dire les concepteurs de systèmes agroécologiques (l'activité de conception a été étudiée dans le Chapitre 1) ainsi qu'aux contributeurs de cet outil qui capitalisent des connaissances sur les systèmes agroécologiques ou sur les processus biologiques et écologiques (l'activité de capitalisation a été étudiée dans le Chapitre 2).

Contrairement aux chapitres précédents, ce Chapitre 3 est rédigé en français.

Résumé

Favoriser la transition agroécologique suppose de modifier en profondeur les systèmes agricoles. Il existe d'une part des communautés d'acteurs et des réseaux de pratiques engagés dans la reconception de systèmes techniques (ex. technique agricole, système de culture), qui mobilisent et produisent des connaissances dans l'action, dans des situations de conception locales. D'autre part, les acteurs de la R&D agricole produisent des ressources cognitives (des organisations structurées de connaissances), et les diffusent via des plateformes en ligne telles que l'outil GECO. Nous cherchons à identifier comment favoriser l'articulation entre la production et l'usage de ressources cognitives adaptées à l'accompagnement de la conception. Pour cela, nous avons réalisé une série d'entretiens semi-directifs avec des utilisateurs actuels et potentiels de l'outil GECO, et les acteurs concernés par la gouvernance et l'animation de l'outil. Nous examinons comment ces acteurs s'organisent pour produire des ressources cognitives issues de leurs expériences de conception ou de l'analyse de systèmes agricoles innovants conçus par d'autres. Nous proposons des pistes pour favoriser la production de ressources cognitives, capitalisant les connaissances dérivées de processus de conception, qu'ils soient de novo ou pas-à-pas. La participation des utilisateurs à la conception de ces ressources apparaît indispensable pour mieux adapter la production des ressources à la conception, en lien avec leur mise en action. Dans la discussion, nous proposons des éléments pour organiser une communauté épistémique en ligne, en spécifiant des caractéristiques liées à la gouvernance, son animation, et le partage de valeurs communes.

1. Introduction

1.1. Les caractéristiques de la conception de systèmes de culture agroécologiques

1.1.1. La conception de systèmes de cultures agroécologiques est organisée dans des communautés de pratiques

De nombreux individus et collectifs sont engagés dans la transformation de l'agriculture, en faveur de l'agroécologie et de la valorisation des processus biologiques et écologiques au sein des agroécosystèmes (Tableau 10). Par exemple, des collectifs d'agriculteurs, formels ou informels, interagissent entre eux pour innover dans leurs pratiques (Goulet et al., 2008), et produisent des connaissances dans le cadre de leurs activités habituelles (*Learning by doing*) (Cohendet et al., 2003). Certains groupes locaux d'agriculteurs sont géographiquement délimités, comme c'est le cas des groupes d'études et de développement agricoles (GEDA) et des centres d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural (CIVAM), qui ont émergé depuis l'après-guerre (Darré, 1999; Vedel, 2008). La constitution de collectifs d'agriculteurs est parfois favorisée par des dispositifs spécifiques d'action publique, comme par exemple les groupes GIEE, encouragés par le projet Agroécologique pour la France[18], ou les groupes DEPHY-Ferme, constitués dans le cadre du plan Ecophyto[19] (Tableau 10).

Certains de ces collectifs peuvent être identifiés comme **des communautés de pratique** (Wenger 2000), **dédiées à des pratiques innovantes spécifiques** (ex. des techniques sans labour).

> *« Les communautés de pratique sont des groupes de personnes qui se rassemblent afin de partager et d'apprendre les uns des autres, face à face ou virtuellement. Ils sont tenus*

[18] Projet lancé en 2012 par le Ministre en charge de l'Agriculture Stéphane Le Foll autour de la transition agroécologique et de la triple performance de l'agriculture

[19] Plan lancé en 2008 qui vise à réduire l'usage des produits phytosanitaires de synthèse

> *ensemble par un intérêt commun dans un champ de savoir et sont conduits par un désir et un besoin de partager des problèmes, des expériences, des modèles, des outils et les meilleures pratiques. Les membres de la communauté approfondissent leurs connaissances en interagissant sur une base continue et à long terme, ils développent un ensemble de bonnes pratiques. »* (Lièvre et al., 2016)[20]

Il existe également des réseaux de pratique (*network of practices*) (Dolinska and d'Aquino, 2016), définis par ces auteurs comme le regroupement de plusieurs communautés de pratiques, qui associent non seulement des agriculteurs mais également d'autres acteurs de la R&D agricole (Tableau 10). On observe ainsi l'émergence d'une multitude de réseaux (parfois institutionnalisés dans le cadre de plans nationaux) autour du développement d'alternatives techniques spécifiques et de manières de produire, répondant à des « valeurs » communes. Un exemple est le réseau national BASE autour du développement de l'Agriculture de Conservation des Sols[21], où les agriculteurs échangent pour faire progresser leurs pratiques (Goulet et al., 2008; Scopel et al., 2013).

Les groupes locaux d'agriculteurs se réunissent pour échanger, à un rythme variable selon les groupes (mais en général plusieurs fois par an). Par , exemple, certains conseillers effectuent des tours de plaine pendant la campagne culturale avec leurs agriculteurs (Guillot et al., 2013). Les échanges « horizontaux » au sein du groupe sont favorisés entre les agriculteurs et d'autres acteurs intéressés par un sujet commun : agriculteurs, techniciens, ingénieurs, chercheurs (De Tourdonnet et al., 2013). **L'essor des nouvelles technologies de l'information et de la communication** transforme les échanges au sein de ces collectifs, qui mobilisent de plus en plus Internet et les réseaux sociaux pour échanger, formaliser et diffuser des connaissances techniques. Certaines communautés s'organisent autour de plateformes en ligne pour faciliter les échanges entre les membres, parfois géographiquement éloignés, et partager des connaissances et des ressources, comme par exemple des plans de l'Atelier Paysan (Salembier et al., 2020). Les acteurs de ces communautés mobilisent aussi des espaces d'échanges pour partager instantanément des informations écrites, des photos et des vidéos (Goulet et al., 2008). Ainsi des forums sont disponibles sur les plateformes en ligne (ex. le forum fermé de la plateforme du réseau Patur'Ajust). D'autres exemples se matérialisent par des groupes Facebook, des groupes de discussion fermés comme les groupes WhatsApp (ex. mobilisés par certains GIEE), des applications mobiles (ex. Landfiles, Agrifind), et également des forums agricoles utilisés par les agriculteurs (M. Prost et al., 2017).

[20] L'ouvrage de Wenger en anglais est synthétisé dans l'article de Lièvre et al. (2016)

[21] L'agriculture de conservation des sols repose sur trois grands principes : « *(1) la perturbation minimale du sol, (2) protection du sol via le maintien d'une couverture végétale permanente en surface, (3) diversification des rotations et associations de cultures* » (de Tourdonnet et al., 2013)

Tableau 10. Liste de groupes locaux d'agriculteurs et de réseaux de pratique en France (liste non exhaustive)

Nature de réseaux agricoles	Description et Exemples
RMT Réseau Mixte Technologique	Réseau Mixte Technologique Systèmes de Culture Innovants (2007-2018) autour de la conception innovante de systèmes de culture, transversal aux organisations agricoles https://www6.inrae.fr/systemesdeculturеinnovants/Le-RMT-SdCi
GIS Groupement d'Intérêt Scientifique	Groupement d'Intérêt Scientifique pour la Production Intégrée en Cultures légumières (GIS PIClèg), depuis 2007, transversal aux organisations agricoles. https://www.picleg.fr/
Fédération Nationale de l'Agriculture Biologique (FNAB)	La FNAB est constituée de groupements régionaux (GRAB) et départementaux (GAB). Les GAB regroupent des agriculteurs en AB. https://www.fnab.org/
Association pour la promotion d'une agriculture durable (APAD)	L'APAD est constituée de groupes APAD régionaux regroupent des agriculteurs en agriculture de conservation des sols. https://www.apad.asso.fr/
Réseau DEPHY-Ferme	Réseau créé en 2010 autour de la réduction de l'usage des produits phytosanitaires, tout en promouvant la triple performance économique, sociale et environnementale, mis en place dans le cadre du plan Ecophyto, transversal aux organisations agricoles. L'animation est gérée par un ingénieur territorial au niveau national et un ingénieur réseau au niveau local. https://collectifs-agroecologie.fr/
Groupements d'intérêt Economique et Environnemental (GIEE)	Les GIEE sont des collectifs d'agriculteurs reconnus par l'Etat lancés dans le cadre du plan Agroécologique pour la France en 2012. Ils réunissent des agriculteurs et d'autres acteurs autour d'un projet commun, orienté vers une agriculture plus écologique et plus performante (économiquement et socialement), afin de contribuer à la transition écologique tout en favorisant la mise en place de dynamiques au niveau local. https://collectifs-agroecologie.fr/
Les groupes 30000	Ces collectifs d'agriculteurs reconnus par l'Etat ont été lancés dans le cadre du plan Ecophyto 2, et doivent avoir une structure d'accompagnement (chambres d'agricultures, organismes et associations de développement agricoles, organismes de collectes, etc.) https://collectifs-agroecologie.fr/
Les GVA, GDA, CETA, des associations professionnelles	Des collectifs locaux d'agriculteurs adhérents à une chambre d'agriculture : Un Groupe Vivre en Agriculture ; Un Groupement de Développement Agricole ; Un Centre d'études Techniques Agricoles
Réseau CIVAM (ONVAR[4])	Centre d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural « sont des groupes d'agriculteurs et de ruraux qui travaillent de manière collective à la transition agroécologique » https://www.civam.org/
Atelier Paysan (ONVAR[22])	Collectif autour de la conception et de la construction, par les agriculteurs, de machines et de bâtiments pour une agroécologie paysanne (Salembier et al., 2020). https://www.latelierpaysan.org/
Patur'Ajuste	Réseau d'agriculteurs dispersés sur le territoire national autour de la valorisation des végétations naturelles pour l'alimentation des animaux (Girard and Magda, 2020) https://www.paturajuste.fr/

[22] Organisme National à Vocation Agricole et Rurale

Enfin, dans les communautés d'agriculteurs, la circulation de connaissances formalisées et contextualisées entre agriculteurs est souvent « *médiée et organisée par d'autres acteurs* » (Compagnone et al., 2018a), c'est-à-dire des acteurs qui adoptent « *une posture d'animateur, d'accompagnateur ou de facilitateur* » (Goulet et al., 2008). Si l'essor de communautés locales, et plus largement de réseaux de pratiques nationaux, renouvelle les modes de partage et de circulation des connaissances entre les acteurs agricoles, la capitalisation des connaissances produites dans ces groupes est alors interrogée. La question du maintien de ces communautés dans le temps se pose également (notamment lorsqu'elles ont émergé et sont financées dans le cadre de dispositifs publics), notamment par rapport aux rôles de l'animateur du groupe local et du développement d'outils d'accompagnement interactifs, facilement appropriables.

1.1.2. Les connaissances hétérogènes mobilisées dans un processus de conception de systèmes agroécologiques

Face aux systèmes agricoles actuels dominants, largement basés sur un usage intensif d'intrants (*input-intensive* agriculture), l'agroécologie a été définie comme une agriculture basée sur l'usage intensif de connaissances (*knowledge-intensive* agriculture) (Altieri and Nicholls, 2012). Comme évoqué précédemment, les échanges de connaissances et d'idées, notamment issues de la pratique, sont favorisés dans les communautés de pratiques. Ces échanges alimentent les processus de conception, individuels et collectifs, de systèmes de culture ou de pratiques en faveur de l'agroécologie (Girard and Magda, 2020; Salembier et al., 2020). Les connaissances mobilisées dans ces processus de conception, pour atteindre des objectifs de plus en plus divers et ambitieux, portent sur des objets nouveaux, peu étudiés avant en agronomie (ex. cycle de vie des auxiliaires), sur les processus écologiques, les régulations biologiques et les cycles biogéochimiques, parfois méconnus (ex. processus dans des systèmes non labourés). « *The inputs of the system are the natural processes themselves, this is why agroecology is referred to as an 'agriculture of processes'* » (Altieri and Nicholls, 2012). Or, ces processus écologiques et biologiques naturels sont extrêmement sensibles et variables en fonction des conditions locales et des pratiques mises en œuvre. Les connaissances sur ces processus sont ainsi partielles, et les facteurs de variation de ces processus sont très peu connus. C'est pourquoi les connaissances scientifiques, produites en situations contrôlées, ne suffisent plus (en nombre et en nature) pour alimenter les processus de conception indispensables à la transition agroécologique (Wezel et al., 2014). L'articulation avec des connaissances empiriques, produites dans et par l'action, enrichit ces processus (Toffolini et al., 2017). Ces dernières sont construites à partir d'observations de terrain et d'expériences contextualisées – le savoir empirique des agriculteurs et les « savoir-faire » locaux. Cependant ces connaissances sont parfois peu disponibles et dispersées, non-formalisées (Guichard et al., 2015), lorsqu'elles sont détenues par des acteurs de terrain (et restent dans le cercle de ces acteurs). Des travaux montrent l'intérêt de davantage partager les innovations produites par des agriculteurs pionniers (Salembier et al., 2016).

Ainsi, les connaissances mobilisées dans des processus de conception sont diverses (ex. connaissances scientifiques, connaissances techniques et connaissances empiriques), portent sur des objets agronomiques nombreux, renouvelés et divers, et permettent d'orienter les choix des agriculteurs pour la mise en action de leurs pratiques (ex. états du milieu ou du couvert). Il apparaît nécessaire de développer des dispositifs permettant de faciliter la production, la formalisation et l'articulation entre les connaissances de natures diverses, détenues par des acteurs dispersés sur le territoire ou dans les organismes, afin de soutenir « *la conception ouverte et continue*[23] » (Barcellini, 2009; L. Prost et al., 2017).

[23] Ce modèle est mobilisé pour décrire les activités de conception de logiciels libres (Barcellini, 2009).

1.1.3. La capitalisation des connaissances : une activité d'acteurs de terrain engagés dans la conception

La conception de systèmes et de pratiques en faveur de l'agroécologie, via l'acquisition et la production de connaissances partielles ou non stabilisées, et alimentée par le partage des savoirs empiriques des agriculteurs, issus de l'action, montre la nécessité de sortir du modèle diffusionniste classique, qui a prévalu depuis des décennies et jusque récemment (Compagnone et al., 2018a). Les travaux sur l'innovation en agriculture montrent que deux modèles opposés coexistent (ainsi que des modèles intermédiaires), promouvant chacun des modalités de production et circulation des connaissances spécifiques. D'après le modèle diffusionniste et linéaire du processus d'innovation, longtemps mis en œuvre en agriculture, les connaissances génériques et fondamentales sont produites par la R&D, transformées en connaissances techniques opérationnelles, puis transférées aux agriculteurs avec l'appui de conseillers agricoles. Dans ce cas, « *l'innovation s'impose et se répand d'elle-même par contagion grâce à ses propriétés intrinsèques* » (Ingrand et al., 2014). Ce modèle est aujourd'hui remis en question, au profit d'un modèle complexe et tourbillonnaire qui intègre dès le départ les différents acteurs concernés. « *Les scientifiques et les ingénieurs n'ont pas le monopole de l'innovation* » (Akrich et al., 1988b). L'agriculteur n'est plus considéré comme un récepteur et applicateur des technologies et est engagé de manière individuelle et collective dans la production d'innovations techniques et des connaissances associées (Goulet et al., 2008; Salembier et al., 2018). Les expériences des uns sur la mise en pratique d'une technique, constituent des connaissances dites « actionnables » par d'autres, c'est à dire permettant l'action (Faugère et al., 2010; Girard and Magda, 2018).

La capitalisation des connaissances repose sur l'identification, la production, et la mise en forme de connaissances nouvelles (ex. capitalisation des connaissances accumulées dans une communauté de pratiques). La capitalisation est une des activités des collectifs d'agriculteurs cités précédemment, souvent prise en charge par l'animateur du groupe (ex. ingénieur de l'Atelier Paysan, conseiller agricole d'un GDA). Dans d'autres situations, des acteurs réalisent des enquêtes auprès d'agriculteurs pour produire des synthèses diffusées largement, comme c'est le cas des traques aux innovations (ex. Salembier et al., 2021 ; ex plateforme OSAE[24]). De la même manière, les ingénieurs du réseau DEPHY-Ferme sont amenés à formaliser et capitaliser des connaissances issues de pratiques innovantes d'agriculteurs. L'objectif est, non seulement de partager des connaissances (*knowledge sharing*) issues de praticiens rares, pionniers, ayant mis en œuvre des pratiques innovantes et présentant un intérêt pour d'autres praticiens, mais aussi de favoriser la montée en généricité de ces connaissances situées, c'est-à-dire de « *les rendre accessibles à ceux qui ne connaissent pas ces situations, parce qu'ils sont géographiquement ou temporellement trop éloignés ou au mieux, en faire ressortir le caractère plus général, pour qu'ainsi transformés, ils (les savoirs) soient utilisables dans un contexte plus large* » (Compagnone et al., 2018a).

Dans certains collectifs, on peut observer une organisation de la production de connaissances et de leur structuration dans des ressources cognitives, par la standardisation de la mise en forme des connaissances produites à partir de pratiques innovantes, par exemple issues d'expérimentations locales (en station expérimentale dans le réseau DEPHY-Expé ou en parcelle d'agriculteur). C'est le cas des Groupes d'Echanges et de Partage des Connaissances (GEPACO), créés dans le cadre du plan Ecophyto, dans le but de capitaliser de manière collaborative les connaissances produites sur des objets ou des techniques nouvelles en agriculture. Un GEPACO rassemble des participants volontaires du réseau DEPHY (de différentes filières et organismes) autour d'une thématique précise (ex.

[24] https://osez-agroecologie.org/syntheses-techniques

GEPACO sur les couverts végétaux, sur les associations[25]). Ces communautés à visée de production de connaissances sont appelées des communautés épistémiques.

Si les nouvelles technologies de l'information et de la communication accélèrent les échanges à distance au sein même des communautés ou des réseaux, et avec l'extérieur, les acteurs ne s'interrogent pas toujours sur les caractéristiques que devraient avoir ces connaissances et le dispositif de leur capitalisation, pour soutenir leur utilisation et utilisabilité (ex. les connaissances « actionnables » facilitent la mise en action ; les structures de connaissances génératives soutiennent l'exploration d'idées).

1.1.4. Les communautés épistémiques en ligne engagées dans la production et le partage de connaissances

Les communautés épistémiques en ligne (CEL) sont des groupes d'individus, organisés autour de la production de connaissances relatives à un objet ou une thématique, dont les membres échangent via Internet. C'est par exemple le cas de la communauté Wikipédia, développée il y a 20 ans autour de la conception d'articles encyclopédiques (Fréard et al., 2010), des communautés autour de la conception de logiciels open source (Barcellini et al., 2009), ou encore de Tela Botanica autour du partage et de la production de savoirs botaniques (Heaton and Proulx, 2012). Dans ces CEL, la production de connaissances est collective, dans le sens où les contributeurs co-élaborent des « objets de connaissances » (articles encyclopédiques). De plus, dans les CEL, il ne s'agit pas seulement de produire et de partager des connaissances, mais également de développer les compétences individuelles et collectives des acteurs impliqués dans la CEL, par rapport à la pratique considérée, en favorisant un apprentissage mutuel par la pratique au sein du collectif (Détienne et al., 2012b). Les CEL sont régulées par un ensemble de règles, de normes et de valeurs partagées par les membres, notamment autour de la production de connaissances (ex. la neutralité des points de vue dans Wikipédia). Enfin, les types de participation dans la plateforme de travail collaboratif de la CEL sont variés, notamment liés aux statuts des utilisateurs (et donc de leur droits), et à la place qu'ils occupent dans les réseaux sociaux. Il existe également un groupe central (*core group*), garant de la réussite du projet collectif : le groupe central de développeurs dans les communautés des logiciels open source (Barcellini, 2009) et les administrateurs de Wikipédia.

Alors que nous avons vu l'importance de partager largement des connaissances empiriques pour favoriser la conception de systèmes de culture agroécologiques, on peut se poser la question des conditions de développement d'une communauté épistémique en ligne dédiée, et des caractéristiques de la plateforme de travail, autour de la capitalisation des connaissances et de la production de ressources pertinentes afin de favoriser les processus de conception de systèmes de culture innovants.

[25] https://gepacoassoculture.miraheze.org/wiki/Accueil

1.2. Développement de GECO, un outil de gestion des connaissances

1.2.1. AgroPEPS, et le RMT Systèmes de Culture Innovants

Le Réseau Mixte Technologique Systèmes de Culture Innovants (RMT SDCI), créé autour de la conception innovante de systèmes de culture, a été mis en place en 2007 suite à un appel d'offres du Ministère de l'Agriculture. Au cours de deux projets successifs (2007-2013 ; 2014-2018), le RMT SDCI a réuni 69 partenaires de la recherche, du développement et de la formation. Il avait pour objectif de proposer des méthodes, des formations, et des ressources aux agriculteurs et acteurs engagés dans la reconception de systèmes de culture, tout en mutualisant les connaissances du réseau.

Dès 2008, le RMT SDCI a initié le développement d'AgroPEPS, un « *outil web collaboratif, système d'informations et de gestion de connaissances dédié à l'agroécologie* » (Guichard et al., 2015). Sur la base des besoins exprimés par les acteurs du développement agricole directement impliqués dans la conception de cet outil, AgroPEPS était basé sur l'idée d'interactions entre deux espaces (Soulignac 2012) : un espace de production et un espace d'échange, appelés respectivement la base de connaissances et le forum. La base de connaissances a été conçue et organisée pour contenir des fiches de type Wiki, présentant des techniques agricoles qui permettent, combinées à d'autres, de contribuer à répondre aux enjeux du développement durable[26]. Le groupe responsable de la conception de l'outil a choisi de décrire les connaissances sur ces techniques avec une entrée sur la préservation des ressources (l'eau, l'air, le sol, les ressources fossiles et la biodiversité), en incluant à la fois des connaissances scientifiques (considérées comme validées et génériques), mais également des connaissances empiriques issues de l'action (peu précises et contextualisées). Une des spécificités souhaitées de ce prototype était le caractère collectif, collaboratif et évolutif, de l'activité de production de connaissances. En effet, les connaissances sur les techniques innovantes alternatives progressent au fur et à mesure de leur mise en œuvre, et il était apparu intéressant de faire bénéficier au plus grand nombre de ces avancées issues des mises en œuvre successives, voire des travaux scientifiques nouveaux conduits sur ces techniques ou les processus concernés. Concernant le forum, cet espace d'échange avait été imaginé par les concepteurs du prototype pour permettre aux utilisateurs de questionner ou compléter les connaissances disponibles dans la base, en mobilisant leur expérience de concepteur de systèmes de culture.

Sur ces bases, l'outil AgroPEPS a été développé en collaboration avec l'IRSTEA en 2012, dans un premier temps sans le forum (Soulignac, 2012). La production de fiches techniques a été coordonnée par le RMT SDCI (150 fiches rédigées et introduites dans l'outil en 2015). Les étapes de production des fiches techniques étaient les suivantes : une primo-rédaction des fiches techniques (par deux contractuels embauchés sur projets) et une relecture par une diversité d'acteurs de la R&D agricole (chercheurs, ou agents de différents organismes de Développement agricole), partenaires du RMT SDCI (ex. incluant des corrections orthographiques, la validation du vocabulaire, l'amélioration du contenu par l'ajout de connaissances situées ou scientifiques). Ainsi, la rédaction était collective, à distance et en mode asynchrone.

[26] Le développement durable est définit comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des génération futures de répondre aux leurs », décrit dans trois dimensions ; sociales, économique et environnementale (Source : Dicoagroécologie)

1.2.2. GECO, l'ACTA et les ministères

Deux ans après son développement, le prototype AgroPEPS a été identifié comme candidat pour le dispositif GECO (GEstion des COnnaissances), un des cinq modules proposés pour le plan Ecophyto I (Guichard et al., 2015; Reau et al., 2009).

> *« L'objectif de GECOphyto est d'appuyer le développement des systèmes de culture écophyto à travers : (i) le renforcement des réseaux d'acteurs impliqués dans la protection des cultures en général et, plus particulièrement, ceux mobilisés dans la réduction d'usage des pesticides qui sont souvent dispersés sur le territoire ou dans les organismes : conseillers, agriculteurs, acteurs du monde de la recherche ou de l'enseignement, mais aussi les décideurs publics et les firmes de l'agrofourniture ; (ii) l'échange d'informations entre ces acteurs et la mise en commun, sur une base volontaire, des ressources utiles à l'adoption de ces systèmes de culture » (Ecophyto R&D volet 2)*

Un nouvel outil a alors été créé en 2015 (Tableau 11) : GECO a remobilisé la base de connaissances d'AgroPEPS, le forum a été informatiquement développé (et amélioré en 2017) et des liens entre les contenus thématiques de GECO ont été rendus possibles par la construction d'un modèle sémantique (Trouche et al. 2016; Soulignac et al. 2017). De nouveaux types de fiches ont été envisagés (les « exemples de mise en œuvre », le matériel, les bioagresseurs, les cultures) et leur insertion dans l'outil avait été préparée par le développement de liens sémantiques (Figure 24). Les fiches « exemples de mise en œuvre » sont aujourd'hui exclusivement les fiches produites dans le cadre des réseaux DEPHY Ferme et Expé (introduites dans l'outil sous format PDF et pas au format Wiki). Il existe deux manières de rechercher des connaissances dans l'outil : la recherche syntaxique (via des mots inscrits par l'utilisateur dans la barre de recherche) pour une question donnée, et la recherche sémantique qui vient enrichir la recherche syntaxique. La recherche sémantique permet, d'un côté, d'affiner la recherche par des clés de tri, et d'un autre côté d'élargir la recherche « par rebonds ». Les clés/critères de tri (aussi appelées facettes) permettent à l'utilisateur de sélectionner un sous-ensemble de réponses à sa requête (par exemple sélectionner seulement les fiches techniques ou seulement les fiches de discussion). Les rebonds permettent aux utilisateurs de naviguer dans l'outil d'une fiche technique à une fiche bioagresseur qui lui est reliée par un simple clic.

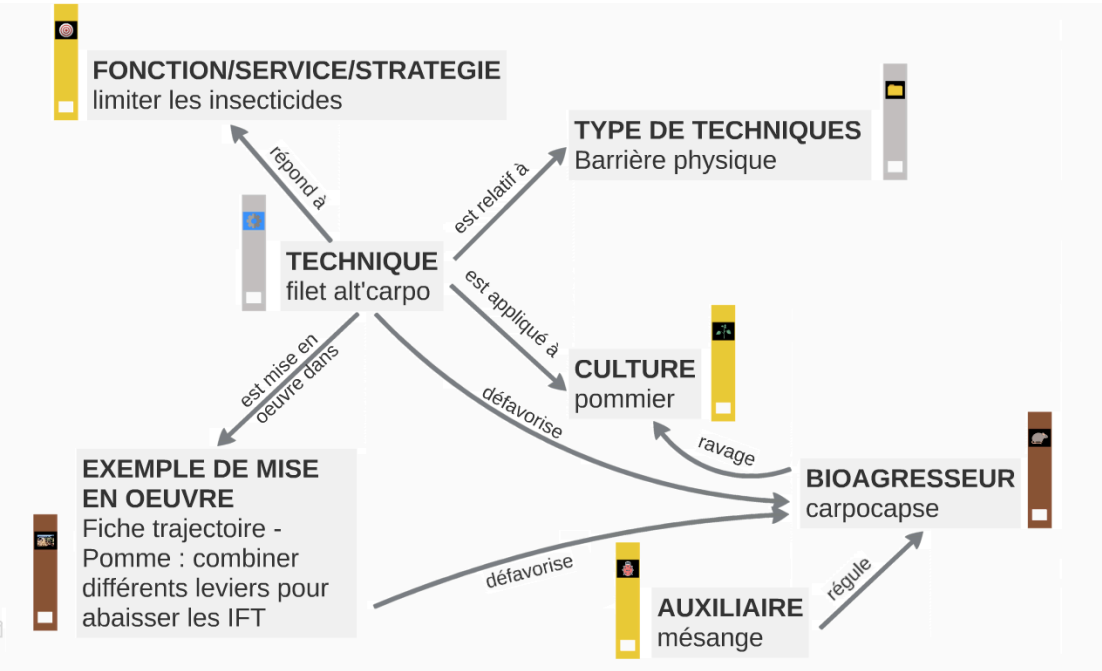


Figure 24. Les contenus de GECO et les liens sémantiques entre ces contenus (Trouche et al., 2018)

Concernant la gouvernance de l'outil, GECO est piloté par les quatre Ministères engagés dans le cadre du plan Ecophyto II+ (agriculture et alimentation ; transition écologique ; enseignement supérieur, recherche et innovation ; et solidarité et santé), et coordonné par la direction la Direction Générale de l'ALimentation (DGAL) du Ministère de l'Agriculture. Il est administré par l'Association de Coordination Technique Agricole (ACTA), en relation avec une SSII qui assure le développement informatique. Les décisions se prennent par des instances spécifiques, communes à deux outils, la plateforme EcophytoPIC et GECO, dans le cadre d'une convention annuelle entre l'Office Français de la Biodiversité et l'ACTA :

- le comité de pilotage présidé par la DGAL concernant les orientations stratégiques et les financements ;
- le Comité Scientifique et Technique (récemment dissout) et
- la cellule opérationnelle EcophytoPIC (qui réunit les Instituts Techniques).

Différentes activités cognitives sont possibles dans GECO : rechercher des connaissances (par ex. pour les mobiliser dans un processus de conception), échanger sur ces connaissances, et produire des ressources cognitives. Plusieurs types d'utilisateurs de l'outil ont été imaginés par les concepteurs d'AgroPeps, relatifs à ces différentes activités : 'le visiteur' qui vient consulter les connaissances disponibles, 'le visiteur identifié' qui peut participer au forum (après avoir demandé un login), 'le contributeur' qui a des droits d'écriture, et 'l'administrateur' (Guichard et al., 2015). Un même utilisateur peut réaliser plusieurs de ces activités. En théorie, l'administrateur a plusieurs rôles : un rôle technique (ex. il valide les droits de contribution), un rôle de communication, un rôle de coordination/d'articulation, un rôle d'animateur du forum, un rôle de modérateur des informations (ex. il régule les échanges, notamment les potentiels conflits quant au contenu polémique d'une fiche ou d'une discussion du forum). L'administrateur est aujourd'hui employé par l'ACTA (il est possible d'avoir plusieurs administrateurs). Dans ce chapitre, nous nous intéressons à deux types d'utilisateurs spécifiques : les contributeurs dans l'outil et les concepteurs de pratiques innovantes. Les contributeurs participent à la rédaction collective et évolutive des contenus de l'outil, souvent dans le cadre de projets financés. On distinguera le primo-rédacteur des relecteurs : dans AgroPeps, deux primo-rédacteurs avaient pour missions de rédiger une première version des fiches techniques et de coordonner la relecture et la validation de ces fiches, principalement réalisées par les membres du RMT SDCI. Les concepteurs peuvent rechercher des connaissances, pour les mobiliser dans un processus de conception, à la fois dans la base de connaissances de l'outil et dans le forum. Les utilisateurs du forum peuvent échanger sur les connaissances de la base (ce qui pourrait permettre une mise à jour des fiches), ou sur de nouveaux sujets (création de nouvelles fiches). Un concepteur peut également être un contributeur, et nous cherchons à comprendre dans quelles mesures ces deux activités sont reliées entre-elles.

Nous partons du constat que l'outil GECO est peu utilisé, et par manque de traçabilité au niveau de l'outil, nous avons peu d'informations aujourd'hui sur la communauté d'utilisateurs de GECO, qu'ils soient contributeurs ou concepteurs. La contribution spontanée est rare. Aujourd'hui, elle est principalement effectuée par des primo-rédacteurs qui coordonnent la production de ressources sur deux thématiques spécifiques (financés dans le cadre de la cellule Recherche Innovation Transfert ACTA-APCA-INRAE). Le faible usage de l'outil pose question, en regard de son objectif et des ambitions de la France pour son projet Agroécologique, et conduit à s'interroger sur les conditions qui seraient nécessaires à son accroissement.

Tableau 11. Caractéristiques de l'outil GECO (dès 2014)

Caractéristiques	**Descriptions**
Gestion du contenu	ACTA (maîtrise d'ouvrage) ; les 4 ministères
Gestion du contenant	SSII Sword
Deux espaces reliés par des liens sémantiques	un espace de production de ressources (appelée la base de connaissances) et un espace de discussion (un forum ouvert)
Les types d'utilisateurs dans l'outil imaginés par les concepteurs d'AgroPeps	- le visiteur qui vient consulter les connaissances disponibles ; - le visiteur identifié qui peut participer au forum (après avoir demandé un login) ; - le contributeur qui a des droits d'écriture et - l'administrateur, qui valide les droits de contribution.
Des ressources cognitives dans la base de connaissances	Des fiches reliées par des liens sémantiques : - des fiches techniques (format wiki issues d'AgroPEPS) ; - des fiches exemples de mise en œuvre (format PDF) ; - des fiches bioagresseurs (format en cours d'étude) ; - des fiches au format non stabilisé : culture, matériel, outil d'aide.
Filières	Grandes cultures (issues d'AgroPeps), maraîchage, arboriculture, vigne
Types de systèmes agricoles considérés/représentés	Agriculture intégrée, agriculture biologique, techniques culturales simplifiées, agriculture de conservation
Exemples de thématiques	Réduction de l'usage des produits phytosanitaires (outil Ecophyto), réduction des intrants de synthèse, autonomie protéique, réduction de l'usage du glyphosate, …
Contribution	- Primo-contribution : ex. CDD embauchés par la cellule Recherche Innovation Transfert (Cellule RIT) - Relecture et validation par des acteurs de la R&D agricole impliqués dans des projets financés et engagés dans la reconception des SDC : ex. les membres du RMT du temps d'AgroPeps
Utilisateurs ciblés	Des acteurs de la R&D agricole : de la recherche publique, privés, des instituts techniques agricoles et du développement et conseil (ex. les chambres d'agriculture, les ONVAR), mais également des agriculteurs et des acteurs de l'enseignement

1.3. Problématique

La question de recherche que nous allons aborder est : quelles sont les conditions pour développer une communauté épistémique en ligne visant à accompagner la transition agroécologique ?

Nous cherchons à identifier les freins et les leviers à l'accroissement de l'usage d'une plateforme en ligne, qui vise à soutenir la capitalisation des connaissances sur des systèmes agroécologiques, par la production de ressources cognitives tout en anticipant l'usage de ces ressources pour accompagner les processus de conception de tels systèmes. Notre étude se base sur l'outil GECO, initialement développé dans cet objectif. Nous nous appuyons sur les travaux concernant les communautés épistémiques en ligne, communautés à visée de production de connaissances, pour proposer des pistes pour favoriser la participation des utilisateurs.

Nous avons effectué des entretiens auprès i) des contributeurs potentiels de l'outil GECO, impliqués dans des activités de conception de systèmes agroécologiques (invention et implémentation), et ii) des acteurs concernés par la gouvernance et l'animation de l'outil. Dans un premier temps, nous examinons les freins et les motivations à la participation des contributeurs, intrinsèques [27] et extrinsèques. Dans un second temps, nous identifions quelles sont les interactions actuelles et souhaitées entre la production et l'usage des ressources. En discussion, nous proposons des conditions essentielles au développement d'une communauté épistémique en ligne active autour de la production de ressources cognitives pour accompagner le changement de pratiques.

2. Matériels et méthodes

2.1. Cadrage théorique sur les communautés épistémiques en ligne

Les communautés épistémiques en ligne (CEL) s'organisent autour de deux objectifs : produire des connaissances et favoriser l'apprentissage mutuel pour réaliser les activités au sein de la CEL. Le second objectif se matérialise notamment par la culture d'entraide aux nouveaux venus (Détienne et al., 2012). « *Une communauté épistémique suppose une dynamique d'action collective où les processus cognitifs se construisent dans des contextes de coordination* » (Conein, 2004). Le Tableau 12 synthétise les caractéristiques des CEL en général, certaines portant plus spécifiquement sur la communauté Wikipédia, ou sur la communauté des logiciels open source (*open source software* OSS, ex. Linux).

Une CEL se caractérise également par « *une structure de gouvernance non figée mais émergente et basée sur la participation* » (Détienne et al., 2010a). La participation est ouverte dans le sens où les membres s'engagent volontairement dans le travail collectif au sein d'une CEL (volontairement ne veut pas nécessairement dire sur du temps personnel). Les tâches des individus peuvent évoluer et ne sont pas prescrites a priori (mode ouvert d'attribution des tâches). Ils choisissent des tâches en adéquation avec leur expertise, ou selon leurs profils et la place qu'ils occupent dans les réseaux sociaux. Par exemple, les nouveaux arrivants peuvent réaliser des tâches simples, pour faciliter leur intégration dans la communauté (appelées les tâches périphériques légitimes, Tableau 12). A l'inverse, le groupe central (*core group*) est constitué d'acteurs avec des statuts différents, garant de la réussite du projet collectif : le groupe central de développeurs dans les communautés des logiciels open source

[27] « *Many members of online communities are motivated because either effort on the task or successful completion of the task is intrinsically rewarding, independent of other downstream consequences of performing the task* » (Kraut and Resnick, 2011)

(Barcellini, 2009) et les administrateurs de Wikipédia. La participation est également décrite au travers de la notion de rôle, « qui renvoie à l'activité manifeste et régulière d'un individu, en interaction avec un collectif et avec des artefacts technologiques » (Barcellini et al., 2008; Détienne et al., 2010b). Parfois, les rôles sont liés au statut de l'individu, c'est-à-dire à sa position hiérarchie (ex. le chef de projet a souvent le rôle d'animateur dans les communautés de conception de logiciels open source).

La participation est régulée par un ensemble de règles, normes et valeurs, instaurées et partagées par les membres (Tableau 12). « *Communities have also been bound together by shared origins, value systems, or ideologies* » (Détienne et al., 2019). Les membres partagent des valeurs communes autour du libre accès des connaissances, et de l'entraide : « le groupe est toujours plus fort que le plus fort du groupe » (Goulet, 2008). Par exemple, deux valeurs clés de la communauté des hackers sont le don et la construction de la réputation, « *les membres qui donnent le plus sont ceux à qui une plus grande réputation est accordée* » (Cohendet et al., 2003).

Certains acteurs d'interface, appelés médiateurs (*boundary spanners*), ont plusieurs rôles au sein d'une communauté épistémique en ligne. Par exemple dans les communautés de conception de logiciels open source, il existe deux espaces de discussion : l'un, orienté conception, avec les développeurs de Python et l'autre, orienté usage, avec les utilisateurs des codes mis à disposition sur la plateforme dans divers domaines (ex. finance). Ces médiateurs d'interface participent aux deux espaces de discussion, comme des passeurs de connaissances d'un monde à l'autre : d'une part, ils transfèrent des connaissances sur l'utilisation du code auprès des développeurs, et d'autre part, ils échangent avec les utilisateurs des connaissances sur la programmation (Barcellini et al., 2008).

Enfin, pour faciliter le travail collectif au sein d'une CEL, distant et asynchrone, des plateformes en ligne sont développées. Elles disposent de plusieurs espaces : de production (ex. édition d'articles dans Wikipédia, implémentation de code) et de discussions. Ces plateformes constituent un environnement « capacitant », c'est-à-dire qui permet aux membres de la communauté « *de développer de nouvelles compétences et de nouvelles connaissances (apprentissage), d'élargir leur capacité d'actions, le degré de contrôle qu'ils ont sur leur tâche et sur la façon de la réaliser (autonomie)* » (Falzon 2005 in Détienne et al., 2010)

Tableau 12. Liste des caractéristiques des communautés épistémiques en ligne à partir de la littérature (Barcellini, 2009; Barcellini et al., 2008; Détienne et al., 2012b; Fréard et al., 2012)

Caractéristiques	**Exemples issus de plusieurs communautés épistémiques en ligne**
La participation ouverte, l'auto-attribution des tâches	Autonomie des participants ; les participants choisissent des tâches en adéquation avec leur expertise (couplage expertise/tâche) ; il n'y a pas de contrat de travail, ni de rétribution directe
Les profils des participants	Dans les communautés OSS (*Open Source Software*) : le chef de projet, les développeurs, les utilisateurs actifs et passifs. Dans Wikipédia : les administrateurs, les éditeurs (des super-éditeurs) et des lecteurs de l'encyclopédie
Profil de médiateurs	Dans les communautés OSS : des médiateurs (*boundary spanners*) assurent le lien entre les utilisateurs et des développeurs
Les tâches périphériques légitimes	Dans Wikipédia : les corrections d'erreurs orthographiques
Le partage de valeurs et de règles	Dans les communautés OSS : La règle du « don /contre don » de logiciels et de conseil, parmi les participants (basée sur la réciprocité), la règle de « paternité de code » (*code ownership*), c'est-à-dire mentionner le nom de l'auteur et faire respecter cette mention par les tiers Dans Wikipédia : le principe de la neutralité de points de vue dans Wikipédia, les règles de discussion dans la mesure où chacun est appelé à contrôler les écrits des autres pour réguler le contenu
Mécanismes de récompenses et de reconnaissance des contributions	Label de qualité attribué à un article Wikipédia, une évaluation par les pairs qui peut aboutir à un changement de statut (et ainsi de nouveaux droits)
Mobilisation d'une plateforme de travail coopératif	Il existe plusieurs espaces : un espace d'édition où l'objet conçu évolue (édition d'article, production de code) et un espace de discussion (échanges et débats au sujet de l'objet). Dans les communautés OSS : il existe également un espace d'implémentation, « *dans lequel sont stockés le code source et ses différentes versions* » (Barcellini 2009) Dans Wikipédia : les pages de discussion permettent aux wikipédiens de discuter le contenu (parfois une vraie négociation s'opère)

2.2. Réalisation d'entretiens semi-directifs

Nous avons réalisé des entretiens semi-directifs auprès d'une diversité d'acteurs de la R&D agricole, appartenant à différentes communautés et réseaux de pratiques (Tableau 10). Nous avons réalisé une démarche inductive à partir des données qualitatives. Nous n'avons pas mobilisé de logiciel d'analyse qualitative (Excel).

Nous avons réalisé des entretiens semi-directifs auprès **des contributeurs potentiels à GECO** (n = 28), en tant qu'utilisateurs potentiels de l'outil, dans l'objectif de détecter les motivations et les freins à la participation dans un tel outil. Nous avons ainsi questionné les acteurs sur la manière dont ils capitalisent des connaissances, parfois soutenue par l'utilisation de GECO ou d'autres outils (ex. capitalisation individuelle, collective, dans le cadre d'un projet) et pour quelles raisons (ex. pour donner à voir des résultats positifs, pour stimuler les apprentissages sur les pratiques innovantes). Nous avons cherché à comprendre la manière dont les acteurs échangent sur ces connaissances (ex. à l'oral, forum fermé, forum en ligne ouvert), notamment dans le cadre de réseaux de pratiques. Enfin, nous leur avons demandé quelle était la place de la conception de système agroécologique dans leurs activités.

Certains entretiens ont été réalisés avec des acteurs qui ont participé au développement d'AgroPEPS (membres du RMT SDCI), pour comprendre les valeurs partagées par les concepteurs du prototype. Cependant nous avons souhaité élargir notre échantillon à des acteurs qui ne connaissaient pas l'outil GECO. L'objectif était d'accéder à un large panel d'acteurs (différents organismes, filières et modes de production) impliqués dans des activités de production de ressources et de capitalisation des connaissances sur des systèmes agroécologiques, soit en tant que concepteurs eux-mêmes, soit en tant qu'accompagnateurs d'un collectif de concepteurs (ex. collectif d'agriculteurs, d'étudiants). Ces entretiens semi-directifs ont été réalisés entre Décembre 2019 et Avril 2020, en présentiel (1/3) et en vidéoconférence (2/3), d'une durée comprise entre 1h et 2h30 (coll. Paola Salazar). La plupart des entretiens ont été retranscrits. La diversité des acteurs interrogés portait sur :

- les métiers et activités : agents de développement agricole, c'est-à-dire des conseillers ou des animateurs (ex. conseiller agricole dans une chambre d'agriculture, ingénieur réseau DEPHY Ferme, animateur CIVAM), des enseignants (enseignant en université, directeur de l'exploitation d'un lycée agricole), scientifiques/chercheurs, expérimentateurs (ex. responsable de site DEPHY Expé)
- les organismes : Chambres d'agriculture (9), ITA (8), organisme d'enseignement (4), GAB (1), APAD (1), AGT-RT (2), Coopérative (1), INRAE (2), BioBourgogne (1), ACTA (1), GRCETA (1)
- les filières : grandes cultures, arboriculture, cultures légumières et viticulture
- les systèmes agricoles considérés: conventionnels, intégrés ou bas niveau d'intrants, bio, agriculture de conservation des sols.

Nous avons également réalisé une seconde série d'entretiens semi-directifs, auprès **d'acteurs concernés par la gouvernance de l'outil** (n = 6), au printemps 2021. Nous avons questionné les acteurs sur leur vision de l'outil GECO, les utilisateurs ciblés de l'outil d'après-eux, leur implication dans la gouvernance et l'animation de cet outil. Des acteurs du Ministère de l'Agriculture (deux directions : la Direction Générale de l'ALimentation (DGAL) et la Direction Générale de l'Enseignement et de la Recherche (DGER)), du Ministère et de la Transition Ecologique et Solidaire, de l'ACTA et l'APCA ont été interrogés.

3. Résultats

Nous proposons d'organiser les résultats en trois temps. Nous retraçons les manières dont les acteurs capitalisent et partagent des connaissances, avec ou sans GECO (Section 3.1). Ensuite nous examinons les freins et les motivations des acteurs pour produire des ressources cognitives dans l'outil, de manière collective et évolutive (Section 3.2). Enfin nous identifions des pistes pour soutenir la participation et l'animation de la communauté des producteurs et des utilisateurs de ces ressources (Section 3.3).

Le Tableau 13 présente les citations des acteurs pour illustrer les résultats.

3.1. Motivations et difficultés de la capitalisation et du partage des connaissances pour soutenir l'activité de conception de systèmes agroécologiques

3.1.1. Pratiques actuelles de capitalisation et de partage des connaissances et leurs limites

Les enquêtes montrent que les acteurs de la R&D, dans le cadre de projets financés, ont des activités de conception de systèmes agroécologiques en parcelle d'agriculteur ou en station expérimentale. Lorsque ces acteurs sont amenés à capitaliser des connaissances accumulées sur ces systèmes agroécologiques, issues de la mise en action dans des situations singulières, ils traduisent et mettent en forme ces connaissances en les synthétisant dans des ressources cognitives : par exemple, des fiches à l'échelle d'une technique agricole, des synthèses sur des systèmes innovants expérimentés. Le partage en ligne des connaissances (et des ressources) est fortement déployé, sur le site internet de chaque organisation agricole ou sur des plateformes en ligne ouverte. Les motivations pour capitaliser et partager les connaissances évoquées par les personnes enquêtes varient : pour montrer qu'il est possible de produire autrement, en donnant à voir des résultats d'évaluation d'une pratique innovante suite à sa mise en œuvre « *Regardez, chez moi, ça marche* », pour « *diffuser au plus grand nombre* » c'est-à-dire transmettre et rendre accessible à tous l'information, parce que c'est une demande d'un supérieur hiérarchique ou d'un collègue. Une autre motivation évoquée est de lutter contre la désinformation sur des sujets qui font l'actualité. Par exemple, une scientifique a souhaité partager des références sur le désherbage mécanique en arboriculture, alternative au glyphosate, pour contrebalancer la majorité des résultats disponibles en ligne qui mettaient notamment en avant le coût élevé de cette technique : « *c'est vrai dans certains cas, mais c'est faux dans d'autres cas* » (Citation 1, Tableau 13)

Les agents de développement agricole qui accompagnent des collectifs d'agriculteurs dans le changement de pratiques expliquent que les connaissances produites par l'analyse des pratiques des agriculteurs qui changent leur façon de cultiver sont d'abord partagées à l'oral, au sein du groupe et plus largement (Citation 2, Tableau 13). Les échanges et apprentissages ne sont pas toujours formalisés par écrit à destination d'un public plus large et plus éloigné géographiquement. Des dispositifs spécifiques/dédiés sont généralement mis en place par l'animateur d'un groupe local pour stimuler les échanges au sein du groupe autour des pratiques innovantes : comme par exemple des visites chez des agriculteurs pionniers. Avec des groupes d'agriculteurs ayant des pratiques de culture classiques, une conseillère mentionne les tours de plaine qu'elle effectue durant la campagne culturale *« pour s'adapter à la situation du moment sans révolutionner l'exploitation »* (décisions tactiques), et une réunion de co-conception organisée avec le groupe faire face aux problème de ray-grass résistants (Citations 3a, 3b, Tableau 13). Une animatrice d'un groupe DEPHY-Ferme a également créé un groupe WhatsApp pour soutenir les échanges virtuels entre les agriculteurs du groupe sur la mise en

œuvre des pratiques visant à réduire l'usage des pesticides. Les discussions sont alors instantanées, facilitées par l'usage du téléphone portable et permettent le partage de photos de l'état des champs pour animer et préciser les discussions. Dans un autre exemple, un conseiller d'une coopérative anime un groupe WhatsApp avec des agriculteurs, et un « *certain nombre de personnalités, scientifiques ou pas scientifiques* ». Un agent de chambre d'agriculture, qui appartient à ce groupe, explique que la communauté créée est intéressante car elle met en lumière différents points de vue (Citation 4a, Tableau 13). D'après lui, l'animation est clé dans la réussite de ce groupe, et l'arrivée de nouvelles personnes permet de redynamiser les discussions (Citation 4b, Tableau 13). Nous constatons qu'aucune capitalisation des échanges dans ces groupes WhatsApp n'est réalisée (groupes d'échanges fermés), au sein du groupe et avec l'extérieur, ce que regrette certains acteurs : *« Je trouve dommage que certaines idées restent enfermées dans ce groupe-là, parce que c'est des super idées »* (un conseiller agricole).

La concurrence sur le terrain, entre acteurs de la R&D agricole, peut également freiner le partage de connaissances et plus largement de solutions innovantes (Citation 5a, Tableau 13) : « *Parce qu'il y a de la concurrence sur le terrain pour vendre du conseil, des prestations aux agriculteurs* » (une ingénieure R&D) ; « *il y a des choses qui ne sont pas dites, parce que ça reste le secret de l'organisme qui a commandé les essais* » (un conseiller agricole). Une conseillère précise que le réseau DEPHY est un cadre particulier qui soutient la collaboration entre des acteurs de différents organismes (Citation 5b, Tableau 13).

3.1.2. Des valeurs autour du partage de connaissances visant à aider le changement de pratiques par d'autres

Certains acteurs interrogés étaient impliqués dans le RMT SDCI et dans la conception de l'outil AgroPeps. Les enquêtes auprès de ces acteurs montrent qu'ils ont réfléchi à la manière de capitaliser des connaissances sur des techniques alternatives, différente de la capitalisation classique et habituelle qu'ils font depuis toujours, en vue de favoriser leur mobilisation par d'autres acteurs engagés, eux aussi, dans des processus de conception. Ayant eux-mêmes participé à des activités de conception, ils étaient force de propositions sur les manières de formaliser les connaissances visant à soutenir cette activité : ce sont des acteurs d'interface, qui font le lien entre les concepteurs et les contributeurs. Dans cet objectif, ils ont, par exemple, développé les schémas décisionnels, et ont réfléchi à la structuration des fiches techniques d'AgroPeps. Néanmoins, les acteurs enquêtés s'expriment sur le fait que **la capitalisation pour soutenir l'activité de conception n'est pas simple** : « *j'ai du mal à décontextualiser les techniques agricoles* » (scientifique).

Ces acteurs partagent une valeur autour du partage des connaissances : **l'accès à l'information doit être libre et gratuit, pour tous.** En questionnant les acteurs à ce sujet, nous constatons que le partage en libre accès des connaissances est considéré différemment selon les individus et les institutions (Citations 5c, 5d, Tableau 13). Une ingénieure compare la stratégie d'un institut technique avec celui où elle travaille « *Ils ont tendance à vouloir monnayer toute forme de connaissance, avec des outils payants, des brochures payantes, etc. Nous - son institut - ce n'est pas notre logique. Notre logique, c'est que les contenus sont libres. ».*

3.2. La capitalisation et le partage de connaissances dans GECO

3.2.1. La capitalisation des connaissances empiriques, issues de l'action

Les enquêtes montrent que les acteurs activement engagés dans des situations de conception s'inspirent de solutions techniques plus ou moins « *farfelues* » (conseiller agricole). Ils ont une activité de recherche active de telles informations, des idées nouvelles et originales, et recherchent des contacts d'acteurs ayant mis en œuvre ces pratiques. Ils élargissent alors souvent leur recherche auprès d'une diversité de systèmes agricoles, en terme de filières (certains acteurs de grande culture vont chercher des connaissances dans les systèmes maraichers) et modes de production (certains acteurs du conventionnels n'hésitent pas à aller chercher des connaissances en agriculture biologique, par exemple). Ces acteurs peuvent également rechercher des alternatives qui leur semblent prometteuses issues d'autres régions, pour s'inspirer des pistes d'innovations travaillées par des agriculteurs pionniers et des professionnels, dispersés sur le territoire, mais rassemblés autour d'une motivation et d'une activité d'accompagnement à la reconception des systèmes agricoles vers l'agroécologie (Citations 6a, 6b, Tableau 13). Afin de favoriser l'inspiration, tout en donnant les clés pour stimuler l'adaptation des innovations techniques dans d'autres exploitations agricoles, les concepteurs de l'outil AgroPeps (eux-mêmes concepteurs de systèmes agroécologiques) ont souhaité donner à voir, au sein d'un même outil, des connaissances empiriques issues de l'action, concernant des pratiques innovantes dans une diversité de situations agricoles. « *Avoir une base de connaissances qui balaye plein de cultures, plein de régions géographiques, plein de filières, c'est un atout*. » (expérimentateur).

Les enquêtes montrent également que les concepteurs de systèmes agroécologiques recherchent le contexte dans lequel les connaissances ont été produites : « *est-ce que c'est un essai scientifique, est-ce que c'est un agriculteur, un technicien ? Non pas que certains soient moins bons que d'autres, mais ça permet de savoir à quel niveau de contextualisation on peut être* » (expérimentateur). Les acteurs enquêtés proposent que les connaissances produites dans des situations singulières, et non validées plus largement, devraient être identifiées comme telles dans un outil comme GECO : « *Je pense qu'il faudrait qu'il y ait un statut qui dise : c'est des connaissances empiriques, issues d'une seule personne, attention…* » (ingénieur de R&D). Un autre acteur précise: « *Je pense qu'il faut plutôt être prudent, sur des choses qui n'ont pas encore été vraiment prouvées. Surtout si c'est un outil qui est ouvert assez largement* » (enseignant).

> *« Parce que si c'est ouvert et qu'à un moment donné, – la contribution dans l'outil – il y a une grande communauté qui se forme et qu'il y a du monde, il va aussi y avoir des personnes qui vont diffuser des choses pas stabilisées, mais sans forcément le dire. Et il y en a vraiment, ça existe vraiment, des gens comme ça. Le risque c'est quand tu as des personnes qui associent des choses vraies à des choses non validées, avec une pincée de solution miracle. Ça donne de la satisfaction au lecteur. C'est un peu l'histoire des fake news, c'est un peu les mêmes mécanismes » (ingénieur de R&D).*

Ainsi, **la question de la validité des connaissances se pose souvent**, sans que les enquêtés n'aient de proposition concrète pour établir cette validation, sauf par la répétition d'observations similaires. Or, comme ces observations répétées ne sont pas toujours dépendantes de la même personne, il devient alors nécessaire de permettre des échanges sur ces confrontations de connaissances expertes. Ainsi, un autre conseiller agricole explique « *c'est un peu le principe qui avait été défendu dès le début -dans AgroPeps-, le fait que ce soit la masse qui régule. Si 50 personnes disent que ça ne marche pas, le lecteur, après, se fait sa propre opinion* ». Il apparaît donc clairement qu'il est important, lors de la formalisation d'une connaissance issue de l'action, de préciser les caractéristiques de la situation locale dans laquelle la technique innovante a été mise en œuvre, et les liens entre ces caractéristiques et les choix techniques mis en œuvre (Citation 7, Tableau 13). Un autre acteur précise que « *le*

raisonnement qui a amené à mettre en place telle ou telle technique » devrait également être partagé, et pas seulement la description de la technique choisie (expérimentateur).

Plusieurs de nos entretiens montrent que la manière de formaliser les connaissances empiriques pour qu'elles soient actionnables, c'est-à-dire pour favoriser leur réutilisation par d'autres, est loin d'être triviale. Plusieurs acteurs se questionnent sur cette compétence. Ainsi un véritable challenge mentionné par ces acteurs est d'apprendre à décrire les systèmes agroécologiques mis en œuvre (ex. une pratique agricole, un itinéraire technique, un système de culture) de manière à ce que ces connaissances aident les futurs concepteurs, et d'apprendre à en « *tirer des enseignements* » (une conseillère agricole). La formalisation d'une connaissance issue de l'action passe par l'apprentissage de l'agriculteur ou de l'expert : il formalise alors ce qu'il a appris de la mise en œuvre de sa nouvelle technique, et c'est ce qu'il a appris qui constitue une connaissance à formaliser. De ce fait, **la stimulation des apprentissages** (d'une nouvelle pratique) joue un rôle clé dans le processus de formalisation des connaissances (Citations 8a, 8b, Tableau 13). Les acteurs enquêtés s'interrogent également sur la nature et l'échelle de l'objet agronomique à décrire lors de cette capitalisation. Par exemple, les acteurs ayant conduit des expérimentations-systèmes (objet récemment mis en avant dans les dynamiques de reconception, en particulier au sein du RMT SDCI) se focalisent souvent sur la formalisation de connaissances décrivant les résultats et la logique sous-jacente au système de culture entier. Or, la complexité de tels systèmes, et leur caractère très contextualisé ne permettent pas la transposition à l'identique dans d'autres situations, limitant ainsi l'usage des connaissances qui en sont issues et qui portent sur le système dans son entier. Il apparait alors essentiel et nécessaire d'identifier et d'extraire des connaissances sur des sous-parties du système, qui seraient plus facilement mobilisables dans la construction de nouveaux systèmes. Mais cette activité constitue une difficulté et apparait faiblement mise en œuvre.

3.2.2. Intérêts et difficultés de la mise en œuvre de la capitalisation collective

3.2.2.1. La capitalisation des connaissances sur les résultats obtenus dans une situation est souvent individuelle

Les enquêtes montrent que la formalisation des connaissances est souvent individuelle, réalisée par un acteur de la R&D agricole, pendant l'apprentissage issu de la mise en œuvre et de l'évaluation du système conçu. Par exemple, dans le réseau DEPHY-Ferme, c'est l' « ingénieur(e) réseau » qui est amené (e) à produire des références sur les innovations mises en œuvre chez les agriculteurs du groupe qu'il ou elle anime (Enquête APCA). Dans ce cadre, l'ingénieur(e) produit des fiches DEPHY diffusées sur la plateforme EcophytoPIC (ex. les fiches « Trajectoire » à l'échelle du SDC d'un agriculteur et les fiches « pratiques remarquables » depuis Décembre 2020 à l'échelle d'une pratique). Dans ce cas, la capitalisation est individuelle dans la mesure où elle est effectuée par l'ingénieur réseau (en forte interaction avec l'agriculteur). Un conseiller agricole précise qu'il travaille seul, étant très spécialisé dans son domaine : « *Ça m'arrive de prendre contact avec des collègues d'autres régions mais très peu. En réalité, pas directement pour faire des choses collaboratives. Les documents que je fournis sont des documents que j'ai produits, purement* ».

Cette étape d'analyse (de diagnostic) à l'échelle d'une exploitation est une étape nécessaire, qui permet de recueillir des connaissances contextualisées, avant de pouvoir faire une mise en commun des résultats obtenus dans chaque exploitation (une analyse croisée) (Enquête APCA).

3.2.2.2. Les intérêts et difficultés de la contribution collective

Le caractère collectif de la production des fiches techniques avait été imaginé par les concepteurs d'AgroPeps, afin de réunir différents points de vue au sein d'une même ressource et mettre en commun les connaissances et expériences. **Cette mise en commun était également vue comme une forme de validation des connaissances acquises dans des actions contextualisées**. La production d'une ressource à plusieurs, dans GECO et ailleurs, est considérée comme un atout par les personnes enquêtées (Citations 9a, 9b, 9c, Tableau 13), car cela permet de produire un avis collectif, une formulation agréée par tous, à partir des connaissances détenues par des acteurs de métiers différents, ou travaillant dans des institutions ou situations différentes : « *Ça peut être une force de l'outil, d'avoir la vision des différents acteurs du monde agricole*. » (animateur). Par ailleurs, un agent de chambre d'agriculture a apprécié les relations de collaboration entre les contributeurs d'une ressource pour atteindre un objectif commun (la production de la ressource), sans hiérarchie présupposée entre des acteurs hétérogènes: « *dans la philosophie de GECO, c'est un peu ça, tout le monde est au même niveau, tout le monde peut parler, en théorie* » ; « *Il y a assez de dogmes en agriculture, ne sectarisez pas encore plus* » (conseiller agricole). Néanmoins, certains acteurs expriment qu'il est parfois difficile de se considérer légitime pour apporter, valider ou remettre en question une connaissance (Citation 9d, Tableau 13), qui a été produite par une personne qui est considérée comme « plus qualifiée que soi » sur la question, du fait de son appartenance à une institution considérée « plus haut » dans la chaine linéaire classique de production/transfert des connaissances : « *la vision très descendante*[28] *de la connaissance est encore extrêmement prégnante* » (enseignant).

Dans l'outil GECO, des contributeurs qui ne se connaissent pas peuvent, en principe, produire ensemble une fiche dans l'outil, puisque l'accès à l'écriture est ouvert[29] et se fait directement en ligne, dans l'outil (comme dans Wikipédia). En questionnant les acteurs à ce sujet, cette possibilité est considérée comme un atout : « *Je trouve même ça intéressant parce que ça m'apporte aussi d'autres idées, d'autres points de vue* » (ingénieur R&D) (Citations 10a, 10b, Tableau 13). Néanmoins, la majorité des acteurs expliquent qu'ils sont rarement amenés à produire des ressources avec des personnes qu'ils ne connaissent pas, du fait qu'ils ne mobilisent pas d'outils en ligne dans cet objectif. Quand ils produisent des connaissances à partir d'échanges autour d'un système innovant, c'est le plus souvent oralement et donc avec des personnes qu'ils connaissent.

3.2.2.3. Comment les acteurs favorisent et accompagnent la contribution collective

Les entretiens montrent que les producteurs de ressources cognitives, dans GECO ou ailleurs, qui se basent sur une dynamique collective pour ce faire, sont amenés à interagir de différentes manières : en face-à-face, à distance en mode synchrone, à distance en mode asynchrone. Un membre d'un groupe GEPACO[30] nous a expliqué que, pour produire des fiches de type Wiki sur leur site internet, le groupe combine des échanges en présentiel et virtuels (par téléphone). La production en face-à-face est considérée comme une motivation et un frein, selon les personnes enquêtées : l'écriture est ainsi « stimulée » par l'échange oral, et permet de confronter plus facilement, et de manière plus interactive, les points de vue, mais elle est d'autant plus chronophage, et même parfois peu efficace (Citation 11a, Tableau 13). Certains acteurs ont mentionné avoir organisé des sessions d'écriture collective en face-

[28] La vision classique de production des connaissances : les connaissances sont produites par la Recherche, transformées en recommandations techniques par les organismes de Développement et transférées aux agriculteurs

[29] L'écriture est possible dans GECO après l'ouverture d'un compte dans l'outil

[30] Dans le cadre de DEPHY, des groupes GEPACO sont mis en place et réunissent des acteurs de différentes filières, appartenant à différentes structures, autour d'une thématique commune

à-face, c'est le cas d'une animatrice qui a souhaité réunir un groupe d'acteurs, appartenant à divers organismes, pour construire une fiche technique dans GECO (dans le cadre d'un projet, Citation 11b, Tableau 13). Elle explique que le fait d'avoir un format de fiche stabilisé et standardisé était une aide à la capitalisation, pour structurer les échanges au sein du groupe (Citation 12a, Tableau 13). Un agent de chambre d'agriculture s'est exprimé sur l'intérêt potentiel de GECO pour faciliter l'activité de capitalisation asynchrone au sein d'un groupe GEPACO : *« Et la difficulté qu'on a eue, c'est qu'on était un peu à distance. On n'avait pas le support (adapté) pour travailler à distance. Alors peut-être que GECO, ça peut être un support pour travailler à distance ».*

Dans GECO, la production de fiches s'est, jusqu'à présent, exclusivement effectuée à distance en mode asynchrone entre un primo-rédacteur et des relecteurs, qui ont travaillé sur un même support à tour de rôle : les primo-rédacteurs sont des ingénieurs, embauchés temporairement sur un projet, pour piloter la production collective d'une ressource cognitive. D'après plusieurs enquêtes, ce modèle semble nécessaire pour favoriser la participation des agents de développement qui « *courent déjà après le temps* », et auraient donc des difficultés à trouver le temps pour participer à des ateliers de rédaction collective. Un conseiller agricole explique : « *il faut des personnes dédiées* » qui contactent des « experts » pour préparer ou valider le contenu des ressources (ex. des scientifiques, des personnes qui ont la connaissance du terrain). C'était également le cas pour la production des fiches techniques dans l'outil AgroPeps, développé par le RMT SDCI (Citation 13a, Tableau 13). Un conseiller agricole, qui a participé à la relecture de quelques fiches techniques, explique que la procédure de validation était alors facilitée au sein du réseau RMT, car l'objectif de produire des fiches pour AgroPeps était partagé par les membres du groupe.

La procédure de contribution collective n'est pas encore stabilisée dans GECO, dans le sens où la relecture effectuée par des contributeurs, suite à une demande des primo-rédacteurs, s'effectue en dehors de l'outil (ex. document Word et échanges par mail). Un enseignant explique qu'il aimerait pouvoir accéder à une version brouillon de la fiche directement dans la plateforme, non visible par tous avant sa publication.

3.2.3. Intérêts et difficultés de la mise en œuvre de la capitalisation évolutive

Le caractère évolutif (non figé) des fiches techniques avait été imaginé par les concepteurs d'AgroPeps, pour valoriser les avancées dans les connaissances, notamment sur des sujets orphelins, et en faire bénéficier le plus grand nombre. Lors des entretiens, les personnes enquêtées, n'ayant pas été impliquées jusqu'à présent dans la mise à jour de fiches GECO, se sont projetées dans cette activité pour discuter des avantages et limites (la mise à jour prévue dans GECO est similaire à celle à l'œuvre dans l'encyclopédie en ligne Wikipédia). Les personnes enquêtées s'accordent plutôt pour considérer le caractère évolutif des ressources comme un atout, car il permet de mettre à jour une ressource en apportant une vision complémentaire et a priori enrichie, par rapport à celle des contributeurs précédents : *« Le processus de review, entre pairs ou entre contributeurs, à mon avis, est super important à structurer. Pour moi, c'est une forme de nouvelle publication »* (un enseignant).

La question de l'amélioration des ressources produites sur les systèmes agroécologiques est soulevée dans les entretiens, notamment par l'implication, dans des ateliers visant à produire une ressource, de personnes extérieures et nouvelles, pour mettre à jour, valider et clarifier le contenu d'une ressource réalisée par un acteur (ingénieur R&D).

Même si les personnes enquêtées s'accordent sur l'intérêt de la contribution évolutive, la majorité mentionne les difficultés de sa mise en œuvre. Les enquêtes soulignent en effet que la contribution, dans GECO ou dans d'autres supports, est souvent ponctuelle, réalisée sur du temps professionnel et

dans le cadre de projets financés (Citations 13b, 13c, Tableau 13), car « *il y a du temps qui est fléché là-dessus* » (scientifique). Les contributeurs ne s'engagent pas nécessairement dans la durée : « *C'est-à-dire qu'à un moment donné, le conseiller ou l'enseignant, il met à plat une connaissance et il met un point final*. » (ingénieur R&D) ; participer à la contribution évolutive, « *ça implique que les gens qui ont contribué au départ à la fiche vont continuer à s'intéresser au sujet pour la suite* » (expérimentateur).

D'après les personnes enquêtées, la procédure de mise à jour d'une fiche dans l'outil GECO n'est ni explicite ni transparente. En particulier, l'outil ne permet pas de conserver la trace des modifications effectuées : « *J'ai été contributeur sur cette fiche et je ne m'y retrouve pas* (ndlr : suite aux modification apportées) » (expérimentateur). Actuellement, le fait de pouvoir directement modifier la fiche sans validation au préalable des contributeurs initiaux, comme dans un article Wikipédia, ne fait pas consensus. Il faudrait « *éviter que n'importe qui vienne écrire n'importe quoi, détruise ce qui a été fait avant…*» (ingénieur R&D). Il apparaît donc important de favoriser la contribution collective et évolutive tout en évitant la malveillance de certains contributeurs. Concernant l'évolution des fiches « exemples de mise en œuvre » de GECO, un conseiller agricole estime que le droit d'écriture devrait être réservé seulement aux acteurs engagés dans le processus de conception du système décrit (l'invention, l'implémentation et le suivi). En revanche, d'après lui, l'enrichissement de ces fiches par des personnes extérieures au processus pourrait s'effectuer via le forum de l'outil. D'autres précisent que ces échanges devraient permettre d'enrichir et de préciser les fiches « exemples de mise en œuvre » car « *il y a souvent plein de sous-entendus dans ces fiches* » (ingénieur R&D). Il semble ainsi important et nécessaire de pouvoir faire des « allers retours » afin d'expliciter et de transmettre les raisonnements agronomiques et les apprentissages (évoqués dans la Section 3.2.1). Dans ce cas, l'évolution du contenu d'une ressource de l'outil GECO dans le temps pourrait être facilitée par des interactions entre l'espace de production des fiches et l'espace de discussion : « *Est-ce qu'il y a cette rétroaction possible ? Ça, c'est intéressant* » (animateur).

3.2.4. Avantages et limites d'une participation volontaire ou obligatoire, financée ou gratuite

La capitalisation des connaissances dans GECO et d'autres supports est dépendante de financements, elle est, de plus en plus souvent, explicitement prévue dans le cadre de projets financés. La production d'une ressource cognitive dans GECO est une activité supplémentaire, et donc considérée comme chronophage, lorsque les connaissances ont déjà été synthétisées sous un certain format (ex. la rédaction d'un livrable d'un projet déjà réalisé, sur un temps dédié) et doivent être à nouveau formalisées au format wiki de GECO. Dans ce cas, si la production d'une ressource GECO n'est pas prévue au démarrage d'un projet, elle se rajoute aux types habituels de synthèses réalisées par les contributeurs. Si la capitalisation des connaissances dans GECO est prévue, un agent de chambre d'agriculture constate que les contributeurs ne sont pas accompagnés pour réaliser cette formalisation spécifique dans l'outil (ni au démarrage, ni sur la durée du projet). Cela constitue donc aujourd'hui, un obstacle majeur à la contribution spontanée.

Récemment, dans le cadre de l'Appel à projet national sur le plan Ecophyto II+ (2020-2021), il est indiqué que « les productions des projets devront être diffusées librement sur le portail de la protection intégrée des cultures EcophytoPIC-GECO ». Les formats et contenus des ressources étant assez différents entre ces deux outils, il est fort probable que cette injonction ne suffira pas à stimuler la contribution dans GECO. En évoquant, dans les entretiens, cet aspect sur le caractère obligatoire de la contribution, il en ressort que, si GECO devient l'outil de capitalisation des connaissances produites dans le plan Ecophyto, alors « *dans ce cas-là, ça a du sens de demander ça comme livrable*

systématiquement » (expérimentateur). La motivation pour contribuer dans l'outil serait alors liée à une incitation institutionnelle.

Néanmoins, la contribution obligatoire peut également être perçue comme une contrainte, surtout si les producteurs de connaissances n'adhèrent pas à la logique de GECO : *« Si ce n'est pas des mails de la hiérarchie, qui disent : 'Faites ci, faites ça', c'est un mail initial qui dit : 'M. Untel, on vous met sur ce sujet, maintenant allez-y, débrouillez-vous.' Ça ne peut pas marcher comme ça. Il faut que les gens s'approprient carrément l'outil, et il faut que ce soit leur outil. Il faut que ce soit, pour les gens qui contribuent, un outil qu'eux-mêmes utilisent. »* (conseiller agricole)

Certains acteurs, impliqués dans la conception de AgroPeps, mentionnent la contribution à la production de fiches GECO, et le financement du temps dédié, dans la réponse à certains Appels à Projets (ex. le projet régional Agroécologie en Bourgogne Franche Comté de la CRA Bourgogne Franche-Comté). Dans ce projet, l'objectif était, d'une part, de créer des nouveaux contenus dans l'outil « *pour partager plus largement* » des résultats et, d'autre part, de réfléchir au format standardisé de certaines nouvelles ressources. Dans le cas cité, des ateliers collectifs ont en effet été organisés pour discuter le format des fiches « *exemples de mises en œuvre* » de GECO. Le projet DECILèg est un autre exemple, qui avait pour objectif de réfléchir à l'insertion de règles de décision dans l'outil.

3.3. La question de l'articulation entre la production et l'usage de ressources

3.3.1. La faible articulation actuelle entre la production et l'usage de ressources

Alors que, dans AgroPeps, les deux activités de production et mobilisation des connaissances dédiées à la conception étaient intrinsèquement liées, car mises en œuvre par les mêmes acteurs, elles sont aujourd'hui dans GECO le plus souvent dissociées. Les acteurs du développement qui capitalisent des connaissances devraient pouvoir trouver un intérêt pour utiliser ces ressources dans leur propre situation de conception (Citations 14a, 14b, Tableau 13). Plus largement, la question de l'utilisation des ressources cognitives produites par la R&D agricole, par des collectifs en situation de conception, est soulevée dans les entretiens : « *On a très peu d'analyses d'impact, sur ce qu'on peut produire, est-ce que ça a un impact ou pas ?* » (conseiller). Les animateurs du réseau DEPHY font également le constat d'un très faible usage des nombreuses productions du réseau sur les techniques alternatives efficaces à la réduction de l'usage des pesticides (Enquête APCA).

Lors des enquêtes, plusieurs propositions ont été évoquées par les acteurs enquêtés, pour favoriser l'usage des ressources en situation réelle de conception. Par exemple, un expérimentateur a évoqué la possibilité de mobiliser les ressources disponibles dans l'outil GECO dans le cadre de formations : *« Il faudrait réfléchir à ça, comment on pourrait utiliser GECO comme support de formation. (…) Comment mettre en place un atelier à partir des connaissances contenues dans GECO et proposer ce genre d'atelier dans des formations. »*. D'autres usages ont été évoqués, notamment par un enseignant qui mobilise régulièrement des ressources pour former des étudiants en master (formation générale), et envisage d'utiliser celles de GECO (Citation 14c, Tableau 13).

Concernant l'amélioration des ressources par l'usage, une conseillère agricole nous a expliqué comment elle a mobilisé un « tableau de bord » pour animer le processus de conception dans le temps, auprès d'un collectif d'agriculteurs localisés sur une aire d'alimentation de captage : « *pour aller dans l'ajustement pas-à-pas et savoir comment, à partir des observations et des mesures qu'on faisait sur le terrain, tirer des conclusions pour ajuster les pratiques derrière* ». Dans ce cas, la ressource était améliorée progressivement au cours du processus de conception.

3.3.2. Une nécessité pour le futur : soutenir l'animation de la capitalisation des connaissances

3.3.2.1. Implication des utilisateurs dans la gouvernance de l'outil

Les enquêtes avec les acteurs de la gouvernance de l'outil nous ont renseigné sur les processus décisionnels, concernant des dimensions stratégiques, scientifiques et techniques. La DGAL, une direction du Ministère de l'Agriculture, coordonne le COPIL EcophytoPIC/GECO, les deux plateformes étant gérées par l'ACTA dans le cadre d'une convention annuelle ACTA/OFB. Le CST EcophytoPIC avait été mis en place en Avril 2012 à l'ouverture du portail EcophytoPIC pour aborder avec les participants le suivi de la plateforme dans sa dimension scientifique (conseil sur les évolutions potentielles) et techniques (fonctionnalités, ergonomie, prise en compte des utilisateurs). La question de la création d'une cellule opérationnelle dédiée à l'outil GECO est en cours d'étude. Les utilisateurs de GECO (les Instituts Techniques sont représentés par l'ACTA), ont un rôle consultatif, ils peuvent être appelés à donner des avis, des conseils sur certaines choses. Par ailleurs, d'autres espaces existent pour aborder des questions sur l'outil GECO, dans le cadre de DEPHY, de la Cellule RIT, des GIS Filières (Enquête ACTA).

3.3.2.2. Pistes pour soutenir l'animation de la communauté

Aujourd'hui, le développement de la plateforme GECO (par des interactions avec une SSII qui assure le développement informatique), la coordination des activités autour de l'outil et son animation sont gérés par l'ACTA. Les enquêtes auprès des utilisateurs soulignent que la communication autour de GECO est faible, plusieurs personnes enquêtées n'avaient jamais entendu parler de cet outil, pourtant porté au niveau national. De plus, les spécificités de l'outil sont peu connues : « *On a du mal, nous, conseillers terrain, à distinguer l'intérêt des différents outils, et les limites de ces outils* » (conseiller agricole). Des propositions été évoquées par les potentiels utilisateurs enquêtés pour renforcer d'une part la communication sur l'outil (ex. envoi régulier de newsletters), et d'autre part l'animation de la communauté, en développant par exemple les interactions entre utilisateurs au-delà des échanges virtuels sur la plateforme (ex. la création d'événements pour travailler collectivement sur des ressources (Citation 15a, Tableau 13), pour partager des méthodes pour accompagner les processus de conception (Citation 15b, 15c, Tableau 13), pour discuter collectivement de principes de gouvernance). Concernant la communication autour de l'outil, des journées de formations ont été organisées en 2019 par l'ACTA et des agents de chambres d'agriculture (engagés dans la construction d'AgroPeps), pour communiquer sur l'outil et présenter l'espace de production des ressources (ex. suite à l'initiative d'un conseiller agricole de la chambre d'agriculture Nouvelle Aquitaine, qui souhaitait faire connaître GECO auprès des conseillers en région). Néanmoins, la seule présentation de l'outil lors d'une formation ne suffit pas pour enclencher des contributions : « *ça n'a pas eu suffisamment d'effet, on a bien vu qu'il fallait qu'il y ait, derrière, une animation très active* » (ACTA).

L'animation autour de GECO est faible, car elle demande des moyens et une organisation dédiée (Citation 15d, Tableau 13), qui ne sont pas mis en place aujourd'hui (alors qu'une telle animation existait autour de l'outil AgroPeps, réalisée par des acteurs du RMT SDCI engagés dans la conception de l'outil et dans le développement des contenus) : « *il y a beaucoup d'outils collaboratifs qui sont très mal gérés, parce qu'il n'y a pas d'énergie pour le faire derrière* » (conseiller agricole). L'animation concerne *a priori* deux espaces : l'espace de contribution et l'espace d'échanges. Aujourd'hui, aucune animation de l'espace d'échange n'est mise en place, faute de financement dédié et de l'absence de mise en place d'une animation collective (ACTA). Concernant l'accompagnement des contributions, il repose actuellement sur le financement (temporaire, via des projets de courte

durée) de primo-rédacteurs. Par exemple, actuellement, deux ingénieures, financées par la cellule Recherche Innovation Transfert, coordonnent la production de ressources sur deux thématiques spécifiques (autonomie protéique et couverts végétaux) (Entretien DGER). Des propositions ont été formulées dans les enquêtes pour soutenir la contribution et son animation, comme par exemple la création de profils utilisateurs (Citations 16a, 16b, Tableau 13), la mise en place d'ateliers collectifs de capitalisation, ou l'organisation de formations sur la capitalisation dans l'outil GECO, au démarrage et en cours de projets (dans le cadre d'AAP Ecophyto). Un conseiller souligne l'importance de renforcer les interactions entre les contributeurs : « *Je pense qu'inciter les gens à aller voir, montrer que leur fiche est lue, qu'il y a des gens qui posent des questions, c'est ce qu'il faut faire.* ». De plus, pour reconnaître les contributions, un enseignant propose de créer un indicateur de qualité attribué aux fiches GECO par les pairs (Citations 17a, 17b, Tableau 13), en somme, un mécanisme de reconnaissances par les pairs comme recommandé dans les CEL.

Concernant le financement de l'animation, GECO est un outil soutenu et mis en avant par les 4 Ministères impliqués dans le plan Ecophyto. Actuellement, un financement commun à la plateforme EcophytoPIC et à GECO est défini dans le cadre d'une convention annuelle entre l'OFB et l'ACTA, mais la stratégie liée à l'animation de l'outil (et le financement alloué) ne semble pas stabilisée (Enquête ACTA). Un utilisateur enquêté a suggéré qu'un financement alternatif/complémentaire pour développer la plateforme et son animation pourrait être mis en place : « *on peut avoir un système de dons, comme du crowdfunding ?* » (enseignant).

Tableau 13. Citations issues des entretiens avec les utilisateurs pour illustrer les résultats

Objet	**Citations**
Citation 1 : Lutter contre la désinformation	« *Je sens bien que c'est une question qui se pose en ce moment, comment ils vont faire sans glyphosate en arbo. Et il y a très peu de références technico-économiques, des pratiques alternatives, donc j'en avais marre de lire sur glyphosate.fr que de passer du désherbage chimique au mécanique, ça coûtait 3 000 € par hectare et par an en plus, ce qui est complètement faux, dans le sens où c'est vrai dans certains cas mais c'est faux dans certains cas. (…) dans le nord de la France où il pleut tout le temps, où tu es obligé de passer dix fois en mécanique* » (scientifique)
Citation 2 : Echanges à l'oral privilégiés	*« Ça c'est le gros truc, 90 % de la diffusion, c'est oral. C'est les colloques, le SIVAL, le Tech&Bio, les journées CTIFL, les journées ITAB. Et après, tout ça se dissémine, parce qu'il y a des gens qui viennent assister donc derrière, ils m'appellent en perso pour dire : 'Tu ne peux pas venir faire une intervention devant mon groupe de producteurs DEPHY ?', des choses comme ça. Ou : 'Viens organiser une formation'. Ça, ça se fait de plus en plus. »* (conseiller agricole)
Citation 3 : Les tours de plaine	*a) « On se donne rendez-vous sur une exploitation donc ça permet d'avoir un support de discussion. Où en sont les cultures et les agriculteurs dans leur travail, confronter un peu leurs avis. Et moi, mon rôle c'est de leur apporter un peu les seuils d'intervention, les techniques. Selon l'année, selon des seuils et des historiques, est-ce que ça vaut le coup de traiter ou de ne pas traiter ? »* (conseiller agricole) *b) « Et en tant que conseiller, on ne te reprochera jamais le traitement de trop. L'agriculteur ne se souviendra jamais que tu l'as fait traiter alors que ça ne servait à rien. Par contre, si tu dis : 'Il ne faut pas traiter' et que derrière… »* (conseiller agricole)

Citation 4 : Groupe WhatsApp multi-acteurs	*a) « Je trouve que ça fait une communauté assez intéressante. Des fois, tu as un agriculteur qui balance un insecte qu'il ne reconnaît pas, Véronique Sarthou répond. Ça fait une source d'information qui est assez intéressante. En plus, ça fait progresser un peu tout le monde. »* (agent de chambre d'agriculture) *b) « Je pense que l'arrivée de nouvelles personnes, de nouvelles thématiques, redynamisent les anciennes. À chaque fois, tout repart parce que tu as toujours de nouvelles personnes. »* (agent de chambre d'agriculture)
Citations 5 : Le partage de connaissances entre organisation	a) « *C'est un peu chacun son organisme, chacun ses clients, chacun sa philosophie. À un moment, il y a quand même une histoire de clients, quelque part. On ne vit pas gratos*. *»* (conseiller agricole) b) « *Dans les réseaux DEPHY tous les organismes travaillent un peu ensemble. Il y a l'IR du CER qui un jour m'a dit : 'J'ai un gars sur ton secteur, éventuellement pense à l'inviter.' Ça n'arriverait jamais dans la vie de tous les jours, c'est un cadre particulier qui permet ça.* » (conseiller agricole) c) « *Il y en a certains qui sont très ouverts et qui acceptent de partager l'info, et d'autres qui sont beaucoup plus sur la réserve et qui ont un peu l'impression qu'on leur vole quelque chose.* » (enseignant). d) « *Moi, ça m'a permis de comprendre, en tout cas, qu'il y avait un enjeu sur la gestion des connaissances qui était bien au-delà de ce que je pouvais imaginer. Ça a fait ressortir, aussi, des postures ou des visions de l'organisation de la R&D, peut-être archaïques, en tout cas ça a requestionné le modèle de la gestion des connaissances en systèmes agricoles français*.» (agent de chambre d'agriculture)
Citation 6 : La recherche de solutions dans une diversité de situations agricoles, dans un même outil	a) « *Quand je suis sur une impasse, j'élargis ma recherche au maximum et à ce moment-là, je peux prendre dans les autres légumes, dans les cultures diversifiées, dans les céréales, etc. Mais c'est un deuxième temps et c'est minime par rapport au temps qu'on passe sur le sujet spécialisé.* » (conseiller agricole) b) « *Regarder un peu des techniques utilisées en grande culture, pour voir comment on pourrait les transférer en viticulture, ça pourrait être une entrée intéressante, éventuellement* » (expérimentateur) c) « *Même pour nous, selon les sujets sur lesquels on travaille, des fois on ne connaît pas forcément tout non plus. Donc avoir vraiment un outil qui permette synthétiser et recueillir ces infos-là, c'est important. (…) Parce que des fois, des exemples en grande culture vont être plus parlants pour certains étudiants, et d'autres vont mieux réagir à des exemples en arboriculture, par exemple, ou en maraîchage, parce que c'est lié à la sensibilité de chacun.* » (enseignant)
Citation 7 : Les échanges sur les connaissances formalisées	« *En plus, même dans le PDF, les gens, ils ont finalisé un travail qui est intéressant mais souvent ça amène question, parce qu'on ne dit jamais tout. Il y a plein de sous-entendus, il y a des choses qui peuvent paraître évidentes pour les acteurs, qui ne le sont pas. Donc je trouve que ça mérite des allers-retours*. » (agent de chambre d'agriculture)

Citation 8 : Les apprentissages	a) « *Il fallait dire comment on a eu tous ces résultats, sans dire : 'On a fait ci, on a fait ça' mais plutôt : ' J'en retire telle chose, sur l'évolution de la structure du sol, elle a évolué comme ça parce qu'il s'est passé ça', etc. C'est plus en tirer des enseignements, mais pas tellement la description de ce qu'on y a fait. Je trouve que les expés, c'est souvent ça, les gens communiquent vraiment sur ce qu'ils ont fait dans l'expé, et quelques résultats, mais vraiment les enseignements en disant : 'Mais pour d'autres, qu'est-ce qui peut être intéressant ?' C'est là où c'est compliqué mais c'est ça qu'il est important de faire en fait.* » (agent de chambre d'agriculture) b) « *Jusqu'à récemment, finalement, chacun se construit sa connaissance au gré de ses activités et rencontres. Et là, le fait de cristalliser, à un moment donné, ce qu'on a appris, c'est quelque chose qui n'est pas forcément très courant. Ça relève d'une activité nouvelle, en fait.* » (agent de chambre d'agriculture)
Citation 9 : La contribution collective	a) « *Je pense que GECO aura le mérite d'être transversal, je trouve ça riche… Opéra, ça ne sera que des conseillers, et que des conseillers chambre. Arvalis, ça ne sera qu'Arvalis. Tu as des philosophies de maison. Même de l'étudiant, qui poserait des questions… tu aurais cette richesse-là… J'adore prendre les étudiants en stage parce que des fois, il y a des questions naïves et tu dis : 'Il a raison', ça te fait progresser.* » (agent de chambre d'agriculture) b) « *je trouve que c'est même plutôt stimulant de travailler à plusieurs sur le même support parce que d'une part, ça permet d'échanger, on n'a pas forcément tous la même perception sur le sujet en question* » (expérimentateur) c) « *Typiquement, sur une adventice, j'ai rédigé un truc qui était basé purement sur de la biblio, il y avait eu des rajouts d'éléments et d'idées, ou des évolutions du contenu, liés à ce que mes collègues connaissent du terrain, parce qu'ils le parcourent depuis plus longtemps. C'est une vraie richesse.* » (conseiller agricole) d) *« Comme on est une petite filière, si c'est quelqu'un qui est considéré comme un expert qui va faire une fiche, je me verrais très mal la retoucher.* » (animateur)
Citation 10 : des personnes qui ne se connaissent pas produisent une ressource	c) « *Je n'ai pas d'a priori, en tout cas, à travailler avec d'autres, et je ne pense pas qu'il faut que ce soit cloisonné, au contraire, justement, ni le métier ni l'expertise.* » (scientifique) d) « *Pour moi, ce qui est important dans l'expertise, pour mettre à plat les connaissances, ce n'est pas qu'on connaisse ou pas les personnes, ce qui est important c'est d'avoir les personnes qui ont la connaissance, qui ont l'expérience* » (agent de chambre d'agriculture)
Citation 11 : La capitalisation asynchrone	a) « *Donc ce qu'on a proposé, c'est que les gens rédigent, envoient, mettent à disposition à tout le monde, que les autres fassent leurs remarques en suivi des modifs, que le rédacteur, dans l'idéal, prenne en compte et fasse des choix avant la réunion suivante, et à la réunion suivante, s'il y a des éléments de débat ou des discussions, on valide ces trucs-là mais ça va beaucoup plus vite, et on ne refait pas les phrases : « Moi je préfère quand il y a une virgule à tel endroit…* » (conseiller agricole) b) *« C'est difficile de faire ça par Word interposés, parce qu'ils avaient besoin d'échanges entre eux, comme c'est des organismes différents. (…) Si chacun avait rédigé de son côté… parce qu'ils ont chacun un angle d'attaque, ou une façon de voir l'expé. Pour la chambre, le but c'est de communiquer une technique qui assure un minimum de perte pour l'agriculteur. Pour la fédé de chasse, le but c'était de communiquer une technique qui permette de développer la petite faune, pour que les chasseurs puissent chasser. Pour la FREDON, c'était comment lutter contre une espèce nuisible, que ça ait un bon ou un mauvais impact économique pour l'agriculteur derrière »* (animateur)

Citation 12 : Le format Wiki des fiches	a) « *Mais je trouve plus simple, même si ça peut paraître un peu énervant, parce que quand tu as des cases tu as toujours envie d'en sortir, mais ça permet quand même de structurer ta réflexion. Au pire tu laisses une case vide si tu n'as pas l'idée. Quand j'avais animé l'atelier de rédaction sur la fiche technique, je trouvais ça vraiment bien d'avoir un cadre, parce que tu savais quels étaient les éléments essentiels à avoir dans ta fiche, donc tu savais comment orienter ta réflexion.* » (animateur) b) « *Si c'est pas mal d'avoir des templates parce que ça permet d'être sur de ne rien oublier. La question, c'est : quelle est la marge de manœuvre qu'on a par rapport à ces rubriques* » (expérimentateur)
Citations 13 : La primo-contribution et le financement du temps dédié à la contribution	a) « *On allait chercher un peu des gens référents, quand même, sur les sujets, donc ils sont quand même contents de faire profiter de leurs connaissances, de leur expérience.* » (primo-rédacteur d'AgroPeps) b) *« Mais il faut qu'il y ait un cadre, ça ne peut pas être juste pour faire un truc dans GECO. À un moment, on dépose un projet, il faut vraiment faire ça et comme ça, tu peux dire à ton chef : 'Je passe tant de temps là-dessus et j'ai le droit de le faire'. Sinon, tu n'as jamais le droit de passer du temps sur ce genre de chose. »* (ingénieur R&D) c) *« Les deux projets DEPHY Expé qui ont été déposés m'ont permis aussi d'y passer du temps en étant payée. Le RMT, ça ne peut marcher que si on réussit à déposer des projets en parallèle, qui permettent justement d'embaucher des CDD »* (ingénieur R&D)
Citations 14 : La mobilisation des ressources	a) « *Je pense que si déjà, tu ne l'utilises pas, toi, pour faire ta biblio ou tes recherches, tu vas peut-être être moins enclin à rédiger là-dessus, parce que toi-même, tu ne vois pas le bénéfice du truc.* » (animateur) b*) « Quand il y a eu les nouveaux projets DEPHY Expé, ça a été très encouragé de faire participer les DEPHY Ferme, à la fois pour avoir des remontées d'infos du terrain, des remontées de besoins et des remontées d'expérience, parce que mine de rien, les producteurs font énormément de choses. Et aussi, dans l'autre sens, pour pouvoir valoriser ce qui était fait dans les projets » (animateur)* c) « *Donc un outil comme GECO, pour nous, serait intéressant à la fois pour aller chercher de l'information pour alimenter leur (étudiants) conception, et pour aider à la formaliser. Par exemple, le schéma décisionnel, typiquement, c'est un outil qu'on essaie de leur faire manipuler, et vraiment, une méthodologie qu'on essaie de leur faire acquérir, pour essayer d'avoir une vraie vision plus systémique* » (enseignant) d) « *Quitte à créer une espèce de foire aux questions : « Quelles questions vous aimeriez voir traiter en priorité sur GECO ? », des choses comme ça.* » (enseignant)
Citations 15 : La faible communication de l'outil et l'animation	a) « *ce serait intéressant aussi de faire des newsletters de temps en temps, pour dire ce qui a évolué dans l'outil, quelle a été la partie où il y a le plus de nouveautés, ce qui se restructure… Et ça me paraîtrait important de créer des colloques GECO, après. Tous les contributeurs de GECO se retrouvent. Je pense que pour faire du collaboratif, à un moment donné il y a besoin de la présence, de la discussion physique.* » (enseignant) b) « *il y a des moments où on se retrouve, tous les ingénieurs DEPHY, ensemble, où on parle du groupe, peu importe que tu sois dans le groupe CER, CIVAM, etc. Donc on parle des techniques d'animation, de ce qu'on fait passer au groupe, comment ça se passe dans le groupe* » (conseiller agricole) c) *« Quand tu es en lien avec d'autres groupes, tu te sens beaucoup moins isolé. » (enseignant)* d) *« On revient à cette idée que pour moi, GECO n'est pas autoporteur. Je pense que ça peut être un très bon outil, mais il faut mettre le paquet. Je pense qu'il y a déjà beaucoup d'argent et de temps qui ont été investis pour le faire, je pense qu'il faut continuer à investir pour qu'il rencontre sa communauté. Pour moi, l'enjeu, il est là. » (ingénieur R&D)*

Citation 16 : Les profils utilisateurs	a) « *si on crée des profils en disant qu'on a un contributeur expérimenté, peut-être qu'on aura plus de facilité à dire : « J'ai une question spécifique là-dessus, il fait partie des contributeurs expérimentés, je le contacte aussi*. » (enseignant) b) « *C'est aussi permettre différents moyens de se tenir au courant, des notifications sur le site même, quand tu te connectes avec ton profil, tu as un petit onglet notification où on te dit l'activité sur les fiches ou sur les discussions que tu suis.* » (expérimentateur)
Citation 17 : Mécanisme de reconnaissances des contributions	*a) « Le côté 'j'aime' ou 'je n'aime pas', même si c'est un peu basique, un peu binaire, ça a au moins le mérite de dire… si on se rend compte qu'on a 80 personnes sur 100 qui ont aimé, on se dit qu'il y a des chances pour que ça ait bien fonctionné. » (enseignant)* *b) « Je serais même partisan de classer les noms des contributeurs en fonction du niveau de contribution » (conseiller agricole)*

4. Discussion

Le prototype AgroPeps a été conçu pour favoriser la formalisation et le libre partage des connaissances pour soutenir le changement de pratiques vers l'agroécologie, en capitalisant des connaissances scientifiques et techniques sur les pratiques agricoles qui permettent, combinées à d'autres, de contribuer à répondre aux enjeux du développement durable. Face au manque de connaissances sur la compréhension des mécanismes bio-écologiques susceptibles d'alimenter des processus de régulation naturelle (Caron et al., 2014), et valorisant les nombreuses innovations des agriculteurs (Salembier et al., 2021), les concepteurs de l'outil promouvaient le partage des connaissances empiriques, produites dans l'action (Guichard et al., 2015). Ils partageaient des valeurs autour de la production de connaissances par les praticiens (*bottom-up*), et la libre circulation de connaissances, alimentant et stimulant les processus de conception, contrastant avec la vision classique du transfert linéaire de connaissances validées et de bonnes pratiques recommandées pour être directement appliquées (*top down*). Ils avaient mis en place, dans ce but, un dispositif inédit d'écriture collaborative et de gouvernance de l'outil, impliquant largement ses utilisateurs. Les concepteurs de l'outil avaient imaginé le développement d'un forum ouvert, adossé à l'espace de production des ressources, pour faciliter les échanges entre utilisateurs pour l'enrichissement des connaissances. Les concepteurs de l'outil AgroPeps, les contributeurs des *fiches techniques* constituant le contenu de l'outil, et les utilisateurs potentiels de l'outil, tous membres du RMT SDCI, avaient développé une communauté qui partageaient des valeurs communes (autour du libre partage des connaissances, et de la valorisation des connaissances détenues par les praticiens), ainsi que des règles de contribution, qui instancient ces valeurs.

Des questions de gouvernance se sont posées pour poursuivre le développement du prototype. GECO, issu d'AgroPeps, **est un outil du plan Ecophyto**, dont l'animation a été confiée par les Ministères à l'ACTA. Nos résultats montrent que l'organisation des acteurs impliqués dans cet outil ne présente pas les caractéristiques d'une communauté épistémique en ligne. En effet, la participation est organisée par des financements sur des projets (la participation volontaire faisant défaut), et coordonnée par des primo-rédacteurs. De plus, les processus décisionnels n'impliquent par les utilisateurs de la plateforme GECO, alors que les modes de participation dans les communautés épistémiques en ligne se construisent progressivement avec les utilisateurs et sont basées sur « *des actions bénévoles faiblement institutionnalisées, volontaires et révisables à tout moment* » (Démazière et al., 2017). Enfin, les utilisateurs ne participant quasiment pas à l'enrichissement et à l'évolution de l'outil, la gestion de l'outil est organisée par un petit nombre de personnes, ne laissant pas la place à une auto-organisation, caractéristique d'une communauté épistémique en ligne.

Nous avons également constaté que la communauté d'utilisateurs autour de l'outil GECO est faible, à la fois en terme de contributeurs qui produisent des ressources cognitives et de personnes qui utilisent les connaissances et les ressources disponibles dans la plateforme pour soutenir leurs activités autour de la conception de systèmes agroécologiques. Nous proposons de redéfinir les contours de cette communauté, et d'identifier des pistes pour soutenir la participation.

4.1. Quel est l'intérêt de développer une communauté épistémique en ligne centralisée et nationale ?

Nos résultats montrent que des connaissances sur les systèmes agroécologiques sont produites et échangées au sein de collectifs engagés dans la conception de systèmes agroécologiques, qui visent à atteindre des objectifs de plus en plus divers et souvent multiples. Certains collectifs d'agriculteurs forment des communautés de pratique (Wenger 2000), et échangent sur la mise en œuvre de techniques nouvelles et l'adaptation de ces techniques à chaque environnement, comme c'est le cas des groupes d'agriculteurs qui partagent une pratique commune, celle de produire sans travailler le sol (De Tourdonnet et al., 2013; Goulet, 2008). Dans le cadre de ces dispositifs, les agriculteurs, accompagnés d'un animateur, partagent des expériences et produisent et échangent des connaissances, produites dans l'action, parfois sur des processus écologiques peu étudiés ou méconnus (*learning by doing*). Néanmoins, nos résultats montrent que les connaissances sont, de manière privilégiée, produites et partagées à l'oral au sein de ces communautés de pratiques, ou par des discussions sur des espaces d'échanges fermés, tels que les groupes WhatsApp[31]. Les connaissances produites dans ces communautés et sous ces formes n'ont pas vocation à être transférées plus largement (Cohendet et al., 2003; De Tourdonnet et al., 2013). Nos résultats confirment que la capitalisation des connaissances produites dans les communautés ancrées sur le terrain, vers un public plus large et géographiquement dispersé, est faible (lorsqu'elles n'utilisent pas des plateformes web, avec l'exemple de Patur'Ajuste). Or le changement de pratiques vers l'agroécologique, stimulé et alimenté par des processus de conception (Meynard et al., 2012), est nourri par des connaissances produites à partir des pratiques et observations des praticiens, caractéristiques de démarches *bottom-up*. Dans les années récentes, des soutiens au développement de dispositifs spécifiques favorisant la conception ouverte au sein de groupes locaux, tout en encourageant le partage entre ces groupes ont été apportés, tels que le dispositif DEPHY-Ferme et le dispositif GIEE. Les ateliers de conception collective sont déployés, et permettent de soutenir l'exploration d'idées à plusieurs (agriculteurs, conseiller agricole, chercheur, etc.) lors de l'étape d'invention d'un système agroécologique (Reau et al., 2015). L'animation d'un atelier est importante pour créer un environnement favorable, favoriser le partage de connaissances utiles, et structurer les échanges, et s'appuie parfois sur la mobilisation de ressources cognitives (ex. fiches sur des techniques innovantes) (Berthet et al. 2020). Nous constatons également que des dispositifs de discussion en ligne ont émergé dans les dernières années, favorisant ainsi les échanges entre individus, comme par exemple les forums agricoles utilisés par des agriculteurs (M. Prost et al., 2017), ou les médias sociaux. Cependant, les échanges se concentrent le plus souvent sur des décisions tactiques, instantanées, et sont peu capitalisés pour nourrir des réflexions plus stratégiques. Pour favoriser la conception ouverte de systèmes agroécologiques, il apparait important de développer des espaces d'échanges en ligne, complémentaires des échanges intragroupes, et permettre aux acteurs-concepteurs de s'inspirer de solutions développées par d'autres acteurs, dans d'autres contextes.

Nos résultats montrent également que la production de ressources cognitives est une activité complexe, dès lors qu'on souhaite faciliter leur mobilisation dans d'autres situations, qui repose sur l'identification de connaissances, et leur formalisation spécifique (Quinio et al., soumis). Nous constatons également que la contribution collective (c'est-à-dire la production de ressources à plusieurs mains) renforce l'intérêt des utilisateurs pour une ressource, et le niveau de confiance dans le contenu, dans la mesure où divers points de vue de personnes et de métiers différents sont représentés. La capitalisation collective permet de formaliser des connaissances issues de l'action, tout en favorisant leur articulation avec des connaissances scientifiques (Girard, 2015). Néanmoins, à notre

[31] Des travaux en cours étudient l'impact des échanges sur WhatsApp dans le changement de pratiques (C. Slimi).

connaissance, peu de dispositifs favorisent la production continue de ressources en ligne destinées à soutenir des processus de conception pour des changements de pratiques vers l'agroécologie. C'est l'objectif de l'outil GECO mais nos résultats soulignent que l'espace de contribution dans GECO ne favorise pas aujourd'hui l'écriture asynchrone et collective (dans la plateforme).

Nos résultats montrent que la communauté autour de GECO ne présente pas les caractéristiques des communautés épistémiques en ligne décrites dans la littérature. La participation des utilisateurs est fortement dépendante des financements. Or la littérature montre que la participation dans les CEL est « volontaire et révisable à tout moment » (Demazière et al., 2007). Elle renforcée par des formes de reconnaissances qui ne sont pas uniquement liées aux incitations institutionnelles. La production de ressources cognitives dans GECO est issue de l'interaction entre un primo-contributeurs et des contributeurs, ces derniers n'utilisant pas la plateforme. Or la littérature souligne que les membres d'une communauté en ligne mobilisent une plateforme de travail coopératif (Détienne et al., 2012). Les échanges sur les connaissances partagées et les formalismes produits sont rares (le forum ouvert de GECO est peu utilisé), et les interactions entre les producteurs et les utilisateurs des ressources sont faibles. Or les travaux de Barcellini (2009) montrent que les espaces de discussions permettent d'améliorer l'objet en cours de construction (ici les ressources cognitives). Enfin, les concepteurs d'AgroPEPS se retrouvent dans des valeurs communes, celle du libre partage de connaissances pour promouvoir l'entraide entre acteurs agricoles, et le partage de connaissances tacites, mais nos résultats montrent que ces valeurs ne sont pas partagées par tous les acteurs de la R&D (deviennent membres ceux qui acceptent de s'y conformer).

En confrontant les objectifs de GECO, les retours d'expériences des contributeurs initiaux de AgroPeps, et les retours des potentiels contributeurs et utilisateurs de GECO, nous proposons de favoriser le développement d'une communauté épistémique en ligne (CEL), autour de la production de ressources pour soutenir le changement de pratiques vers l'agroécologie (tout en anticipant leurs usages), s'appuyant sur une plateforme web **nationale et centralisée**. Les ressources cognitives produites seraient basées sur la capitalisation de connaissances diverses, mixant des connaissances produites par les praticiens et des connaissances scientifiques, dans des formats standardisés afin de faciliter la capitalisation et l'usage, dans le but de soutenir les différentes étapes de processus de conception de systèmes agroécologiques (la reformulation de la cible de conception, la génération de solutions nouvelles, la mise en œuvre et l'évaluation des solutions), et l'articulation entre ces différentes étapes. Ce sont des ressources qui accompagnent les apprentissages, non prescriptif (De Tourdonnet and Brives, 2018), ce ne sont pas des ressources d'aide à la décision. Nous allons proposer des pistes pour favoriser le développement d'une telle communauté, et les caractéristiques de la plateforme de travail collaboratif pouvant soutenir/encadrer l'animation de cette communauté.

4.2. Comment animer et maintenir une telle communauté épistémique en ligne ?

4.2.1. Pistes pour favoriser l'articulation entre production et usage des ressources

4.2.1.1. Pistes pour favoriser la capitalisation des connaissances

Nos résultats montrent que l'identification des connaissances importantes à produire à partir de la mise en œuvre d'un système agroécologique (une pratique, un système de culture), pour permettre leur réutilisation dans d'autres situations de conception, n'est ni triviale ni aisée. Nous avons vu que les systèmes de culture conçus, souvent complexes et surtout très contextualisés, ne peuvent pas être transposés à l'identique d'une situation à une autre. Une difficulté, rencontrée par les acteurs, réside donc dans l'identification de sous-ensembles cohérents de ces systèmes, sur lesquels des connaissances plus facilement réutilisables dans d'autres contextes peuvent être produites, sans

négliger leur caractère systémique. Pour formuler des connaissances produites à partir de leurs expériences ou de leurs actions, plus facilement transposables, les acteurs s'appuient sur des mouvements de contextualisation/décontextualisation (Toffolini et al., 2017), et sur l'explicitation de la logique systémique sous-jacente à la situation (Meynard et al., 2001). Il s'agit de comprendre et d'exprimer sous une forme compréhensible par d'autres, ce qui est inhérent à la situation de ce qui est transposable. Nous faisons l'hypothèse, avec les acteurs, que des ateliers de capitalisation collective pourraient favoriser ces mouvements de contextualisation/décontextualisation, pour rendre des connaissances individuelles et tacites, plus explicites et génériques. En complément, des événements et des activités spécifiques pourraient être organisés au sein de la communauté et en dehors (ex. webinaires thématiques, séminaires en présentiel), la littérature sur les communautés épistémiques en ligne utilise le terme de « rituels » (Kraut and Resnick, 2011).

De plus, nos résultats montrent que, dans l'outil GECO, la macrostructure de la fiche technique (titre, présentation, services rendus par la techniques…) guide et facilite la contribution. Des guides ont également été réalisés pour accompagner l'activité de capitalisation des expérimentateurs (Havard et al., 2017). Il serait donc utile de proposer des guides également pour favoriser la capitalisation sous d'autres formats (tels que ceux que nous avons proposés dans le chapitre 2).

Dans les communautés épistémiques en ligne, la participation est favorisée par deux mécanismes : **l'aide à la contribution des nouveaux participants et la reconnaissance des contributions par les pairs**, relatives à la réputation de la personne et à son implication dans la communauté (Détienne et al., 2010b). Les nouveaux arrivants peuvent facilement identifier et réaliser des tâches simples (appelées les tâches périphériques légitimes), pour faciliter leur accueil et renforcer leur intégration dans la communauté. Par exemple, dans Wikipédia, les nouveaux venus sont coachés par les anciens contributeurs. Dans la communauté botaniste Telabotanica, le travail des « *petites mains* » est crucial dans la construction d'une base de données, à partir de la numérisation des herbiers (Heaton and Proulx, 2012). Le nouvel arrivant doit non seulement partager les valeurs de la communauté, mais il doit également « faire ses preuves » (Détienne et al., 2012) auprès des contributeurs pour être admis comme contributeur. Par ailleurs, des mécanismes de récompense et reconnaissance des contributions sont généralement/souvent mis en place, pour rendre visibles les contributions et encourager les contributeurs. Par exemple dans Wikipédia, un mécanisme de récompense des contributions est l'attribution de labels de qualité/maturité aux articles encyclopédiques (*featured articles*). Le changement de statut, qui donne accès à de nouveaux droits, est une manière de reconnaître les contributions (ex. les administrateurs). Il est important de définir quels pourraient être les mécanismes de reconnaissance des contributions dans la communauté en ligne décrite précédemment, et de soumettre les propositions aux utilisateurs formant le *core group*.

Un autre mécanisme utilisé pour favoriser la participation dans les communautés en ligne est la création de **profils utilisateurs : «** *Many online communities maintain reputation information based on the history of someone's participation in a community and display it next to the person's username wherever it appears in the online community's content, or in the user's profile page.* **»** (Kraut and Resnick, 2011). Cela pourrait permettre aux utilisateurs de connaître les autres acteurs travaillant sur des thématiques proches mais géographiquement éloignés, et ainsi de faciliter les interactions entre les contributeurs.

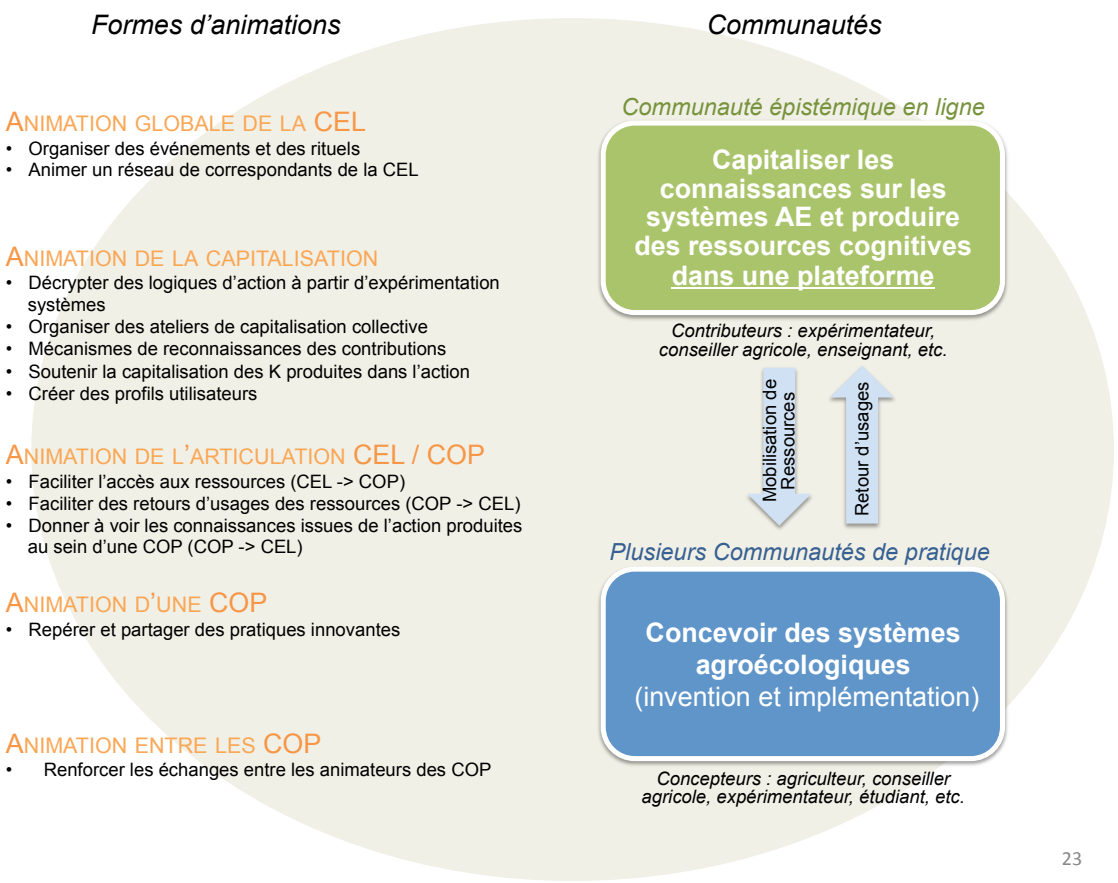


Figure 25. Interactions entre une communauté épistémique en ligne orientée production de ressources et des communautés de pratiques orientées usages des ressources dans un processus de conception de systèmes agroécologiques

4.2.1.2. Les acteurs d'interface entre la production et l'usage d'une ressource

Nos résultats évoquent la possibilité, et l'intérêt évoqué par les praticiens, d'améliorer les ressources par des retours d'usage en situation réelle. L'utilisation de ces ressources en situation de conception permet une « conversation réflexive avec la situation » pour reprendre l'expression de Schön, dans le sens où la situation rencontrée influence les manières d'utiliser la ressource (Cerf et al., 2012 ; Schön, 1992). Ainsi, les divers usages rencontrés d'une ressource renseignent sur sa capacité à répondre aux besoins des utilisateurs, et permettent une amélioration progressive de la ressource selon les difficultés rencontrées (on parle de boucle de rétroaction).

Deux pistes pourraient favoriser l'articulation entre la production et usage des ressources : i) **l'espace d'échanges de la plateforme de travail collaboratif et ii) l'intervention d'acteurs d'interface** pour favoriser la collaboration entre les contributeurs et les utilisateurs de ces ressources. Tout d'abord, les exemples de plateformes mobilisées par des communautés épistémiques en ligne se basent souvent sur l'articulation de deux espaces : un espace de production et un espace de discussion (Fréard et al., 2012). Nous constatons certaines plateformes en ligne connue dans le monde agricole disposent également d'espace d'échange fermé (Patur'Ajuste) et ouvert (plateforme de l'atelier Paysan). L'espace de production vise à faciliter la contribution collective et asynchrone. La littérature souligne l'importance « *des technologies cognitives et communicationnelles* » (Conein, 2004) pour soutenir la coopération et la coordination entre les membres d'une communauté : ex. système de gestion pour le développement collaboratif sur Internet, comme Sourceforge utilisé en conception OSS (Détienne et al., 2012), et l'accessibilité à l'historique de contribution dans Wikipédia. Quant à l'espace de

discussion, c'est le lieu d'échanges et de débats au sujet des ressources contenues dans l'outil, notamment pour renforcer l'hybridation entre les connaissances génériques proposées dans une fiche technique et les connaissances situées produites par une communauté de pratiques, ou pour enrichir les techniques innovantes décrites, à partir de l'accumulation de retours d'expériences. La littérature souligne l'importance de mettre en place des mécanismes de régulation dans les espaces d'échanges de la plateforme (Conein, 2004), pour faciliter les interactions entre les membres de la communauté (ex. relance des discussions, modération), et éviter d'éventuelles malveillance de membres (internes ou) externes à la communauté.

La littérature sur les communautés épistémique en ligne de logiciels open source montre l'importance des acteurs d'interface (*boundary spanners*), pour renforcer les liens et la coordination entre les développeurs de logiciels libres et les concepteurs (Barcellini et al., 2008). Le rôle de ces acteurs d'interface pourrait être nécessaire dans le développement d'une communauté pour l'agroécologie, pour faciliter les interactions entre les contributeurs et les concepteurs, eux-mêmes intégrés dans des communautés de pratiques sur le terrain. Certains acteurs, de par leur métier, sont en effet impliqués à la fois dans des activités liées à la conception des systèmes agroécologiques et dans des activités de production de ressources (ex. certains conseillers agricoles en chambre d'agriculture, de nombreux acteurs du RMT SDCI et CTA). Ils peuvent d'une part faire remonter les besoins du terrain (ex. trous de connaissances identifiés lors de processus de conception), mettre en exergue des retours d'usages des ressources et partager des méthodes disponibles pour accompagner la conception de systèmes agroécologiques (lien communautés de pratique vers la CEL illustrés dans la Figure 25). Ils favorisent également la production de connaissances issues de l'action, au sein de groupes locaux, et stimulent les interactions avec l'extérieur. D'autre part, ils peuvent accompagner l'usage des ressources sur le terrain, et transférer des connaissances produites dans la CEL (lien CEL vers les communautés de pratique illustré dans la Figure 25).

4.2.2. Pistes pour favoriser les prises de décisions au sein de la CEL

Les communautés épistémiques en ligne sont caractérisées par des règles de discussion, de production et de coordination (Barcellini, 2015), comme par exemple la règle de « paternité de code » (*code ownership*) dans les communautés logiciel open source. Dans le cadre du développement du prototype AgroPeps, des règles de contribution ont déjà été identifiées par les concepteurs de l'outil (ex. contribution collective et évolutive, partage de connaissances produites par la pratique) : les acteurs de la R&D agricole deviennent membres s'ils acceptent de s'y conformer.

Le développement de la plateforme GECO, qui serait mobilisée par les membres d'une communauté épistémique en ligne, pose question vis-à-vis de sa gestion et de son financement. Le mode de gouvernance de la plateforme GECO n'est pas cohérent avec celui d'une CEL. Les acteurs de la gouvernance, qui prennent des décisions sur les développements de la plateforme, devraient pouvoir s'appuyer sur une équipe multi-compétences : des acteurs représentant les utilisateurs de l'outil (les organisations de la R&D agricole impliquées, sur le terrain, dans des activités de reconception), des informaticiens, des scientifiques travaillant sur et pour la capitalisation des connaissances. Les utilisateurs devraient être impliquées dans les choix d'évolution de l'outil (partie prenante dans la prise de décision), afin de mieux prendre en compte les usages dans les évolutions. De plus, des acteurs impliqués dans les communautés de pratiques agricoles pourraient également être impliqués dans l'animation de la plateforme (ex. réseau DEPHY).

5. Conclusion

Il existe de nombreux individus et collectifs engagés dans la transformation de l'agriculture, en faveur de l'agroécologie. Ces communautés de pratique innovent sur le terrain, conçoivent des pratiques nouvelles et les mettent en œuvre, tout en produisant, dans l'action, des connaissances sur ces systèmes agroécologiques (*Learning by doing*). Ces connaissances empiriques ne sont pas toujours capitalisées. Pourtant, la capitalisation des connaissances sur les systèmes agroécologiques et sur les processus écologiques à la base de ces systèmes, à la fois scientifiques et empiriques, est utile à la conception pour la transition agroécologique (démarches *bottom up*). Mais c'est une activité complexe. Pour favoriser la participation de contributeurs, les producteurs de connaissances, tout en favorisant l'usage de ces ressources par des concepteurs de pratiques innovantes, l'émergence et l'animation d'une communauté épistémique en ligne, étroitement associée à des communautés de pratiques sur le terrain, semble une piste prometteuse. Sur la base d'une analyse des freins et motivations des utilisateurs potentiels d'une telle plateforme, nous proposons des conditions favorables à l'émergence et au développement d'une communauté épistémique en ligne pour l'agroécologie. Une telle CEL devrait favoriser l'accompagnement de la capitalisation des connaissances, nécessaire pour favoriser l'utilisation des ressources produites. L'organisation de retours d'usages apparait nécessaire à l'amélioration des ressources. Nous mettons ainsi en évidence l'importance de l'articulation entre la production et l'usage des ressources, activité souvent réalisée par des acteurs d'interface, dans une telle CEL. Nous faisons l'hypothèse que le développement, la gestion et l'animation d'une communauté épistémique en ligne autour de la production de connaissances et de ressources cognitives d'aide à la conception, pourraient favoriser le changement de pratiques vers l'agroécologie. De telles communautés reposent sur le partage, par leurs membres, de valeurs communes autour du libre partage de connaissances, notamment les connaissances empiriques, et de règles de fonctionnement définies collectivement, cohérentes avec les principes de l'agroécologie. Néanmoins, la gouvernance, le financement, et les modalités d'animation d'une telle communauté dans le monde agricole, répondant aux caractéristiques décrites dans la littérature, restent à préciser.

Discussion générale

La question de recherche de la thèse que nous avons abordée est : **comment soutenir la capitalisation et le partage de connaissances pour favoriser le changement de pratiques vers l'agroécologie.** Nous proposons de repenser un modèle de capitalisation et de partage des connaissances, par rapport au modèle linéaire existant, en prenant en compte la dimension cognitive et la dimension sociale. Pour accompagner cela, d'un point de vue méthodologique, nous avons mis en place une démarche « centrée utilisateur » structurée en trois étapes :

- une analyse de la manière dont les concepteurs mobilisent des connaissances pour concevoir collectivement des systèmes agroécologiques (Chapitre 1). Nous avons mis en place un diagnostic des usages (Cerf et al., 2012a), visant à analyser l'activité de conception de systèmes agroécologiques. Notre démarche s'est appuyée sur les concepts de l'ergonomie cognitive pour appréhender les processus de conception (Darses et al., 2004; Visser 2009).

- la production de ressources cognitives (formats recommandés de structuration de connaissances) permettant de soutenir la génération de solutions, c'est-à-dire l'émergence de nouvelles combinaisons de techniques candidates qui proposent des alternatives aux systèmes agricoles intensifs actuels (Chapitre 2). Nous avons mobilisé les travaux sur les structures de connaissances génératives (Brun et al., 2016; Le Masson et al., 2016), en proposant leur adaptation à un contexte de conception en agroécologie, en interrogeant en particulier la manière de rendre compte, dans des formats écrits, de la logique agronomique sous-jacente aux relations systémiques entre les composantes d'un agroécosystème.

- une analyse des conditions favorables au développement d'une communauté de contributeurs, producteurs de ces ressources (Chapitre 3). Nous avons mobilisé la notion de communauté épistémique en ligne (Barcellini et al., 2008; Détienne et al., 2012a), communauté à finalité de production de connaissances largement étudiée pour la conception de logiciels open source, et l'avons transposée au contexte de l'agriculture. Nous avons montré que le développement d'une communauté épistémique en ligne pouvait soutenir la transition agroécologique (TAE), à condition que ses liens avec des communautés de pratiques en agroécologie soient renforcés et stimulés.

Nous proposons de discuter de nos résultats autour de la capitalisation des connaissances, pour soutenir les activités de conception de systèmes agroécologiques (ex. pratique élémentaire, système de culture). Nous proposons d'organiser la discussion en trois temps, pour porter un regard croisé transversal sur les résultats des trois chapitres et répondre à la problématique générale de la thèse. Dans un premier temps, nous abordons la dimension cognitive de la capitalisation des connaissances sur les systèmes agroécologiques. Dans un second temps, nous souhaitons faire valoir la dimension sociale de la capitalisation et du partage des connaissances, pour soutenir le changement de pratiques vers l'agroécologie. Enfin, nous discutons de l'usage des ressources produites dans des situations de conception de systèmes agroécologiques, en abordant la dimension cognitive et la dimension sociale. Dans ces parties, nous revenons d'abord sur nos contributions, tout en cernant les limites des démarches employées, et en identifiant des perspectives de recherche possibles. Notre étude se base sur le cas d'étude de l'outil en ligne GECO, mais nos conclusions ouvrent de plus larges perspectives.

1. La capitalisation des connaissances pour soutenir la conception de systèmes agroécologiques : la dimension cognitive

1.1. La production de nouvelles ressources cognitives pour soutenir la génération de solutions et pour partager plus largement des connaissances

La conception d'un nouvel objet (dans notre cas, un système agroécologique, ou une partie), et son insertion dans un environnement sociotechnique, repose sur la mobilisation de connaissances préexistantes, propres aux concepteurs (ex. participants à un atelier de co-conception), et également sur **l'apport de connaissances nouvelles** et originales, qui permettent de générer de nouveaux concepts (ex. durant le partage de connaissances d'un atelier) (Brun et al., 2018; Hatchuel and Weil, 2009; Ravier et al., 2018). Nos résultats montrent que l'apport de **connaissances sur le cycle de vie d'un bioagresseur**, permet de faire émerger de nouvelles options techniques pour maitriser ce bioagresseur qui n'existaient pas au démarrage du processus de conception (des connaissances expansives), à condition de les associer avec des connaissances sur les fonctions caractérisant ce cycle de vie, et des connaissances sur les techniques qui permettent d'agir sur ces fonctions (Chapitre 1). De telles connaissances biologiques aident les acteurs engagés dans un processus de conception innovante, en vue de maîtriser un bioagresseur sans pesticide de synthèse, à construire des stratégies de gestion sur la base de ces connaissances biologiques (ex. les interventions visant à détruire les chardons doivent être positionnées au moment où les réserves racinaires du chardon sont faibles, pour favoriser l'épuisement de ces réserves et rendre plus difficile la croissance ultérieure du chardon). Sur la base de ce résultat, nous avons proposé un nouveau type de ressource cognitive centré sur un bioagresseur, et basé sur l'explicitation et la visualisation des liens entre connaissances biologiques sur les étapes du cycle de vie, les fonctions caractérisant le cycle, et les techniques susceptibles de modifier ces fonctions pour réduire le risque de développement du bioagresseur dans le système de culture (inspiré de la démarche Trait-Fonction-Service en écologie, Damour et al. 2014). Néanmoins, les connaissances sur les objets étudiés en agroécologie, ou fonctions, qui sont déterminants à prendre en compte dans la construction de systèmes agroécologiques manquent. Par exemple, on dispose de peu de connaissances actionnables sur les effets allélopathiques de certaines espèces végétales, ou sur les conditions favorables à la régulation naturelle des bioagresseurs par des auxiliaires. On est loin de connaître les interactions de chaque espèce cultivée avec chaque auxiliaire, sous l'effet des pratiques agricoles. Ainsi, la formalisation de cette ressource, le *tableau bioagresseur,* permet de mettre en évidence les trous de connaissances, parfois comblés par les connaissances empiriques des agriculteurs et des acteurs de terrain durant un atelier de conception (ex. observations des périodes de vol d'un auxiliaire peu étudié).

Nous avons également montré que la **formalisation des résultats d'explorations achevées,** par exemple lors d'un atelier collectif de conception, peut constituer une source d'inspiration pour d'autres concepteurs. Ainsi, la ressource *arbre d'exploration* vise à structurer les liens établis entre un objectif appliqué visé (ex. limiter les pertes en azote durant l'automne), les fonctions de l'agrosystème sur lesquelles on peut jouer pour atteindre cet objectif (ex. favoriser l'absorption de l'azote minéral durant l'automne), et les techniques susceptibles d'agir sur ces fonctions (ex. insertion de couvert en période d'interculture courte ou longue). Cet *arbre d'exploration*, inspiré de la carte à idées, proposée par Reau et al. (2016) pour synthétiser l'exploration réalisée au cours d'un atelier, peut ainsi servir de base pour accélérer ou déployer de nouvelles explorations sur des thèmes proches, dans d'autres situations. Nous avons proposé des règles de construction de l'arbre d'exploration, basées sur les travaux de Brun et al. (2018), pour soutenir la générativité des concepteurs (la capacité à créer de nouveaux objets), en favorisant des liens « fonction - technique » non-déterministes et non-

modulaires. Néanmoins, ces structures de connaissances ne permettent pas de représenter les relations systémiques entre les composantes d'un agroécosystème, pourtant déterminants pour les systèmes agroécologiques.

Enfin, nous avons montré (Chapitre 1) que les concepteurs réutilisent fréquemment des solutions passées dans l'étape d'exploration, en mobilisant un raisonnement par analogie (Bonnardel, 2000). Nous avons également repéré que les concepteurs de systèmes agroécologiques restent parfois fixés sur les solutions existantes, restreignant alors l'exploration à des solutions intradomaines, c'est-à-dire des techniques, ou combinaisons de techniques, issues du mode de production et de la filière ciblés dans la situation de conception (effet de fixation mis en évidence dans la littérature, Jansson and Smith 1991; Agogué et al. 2014; Crilly and Cardoso 2017). Des ressources ont précédemment été proposées par des agronomes, visant à décrire des systèmes agroécologiques mis en œuvre et performants, dans le but de servir d'inspiration à d'autres concepteurs confrontés à des problèmes à résoudre proches et/ou à des situations agricoles similaires : ainsi, le schéma décisionnel a été construit et utilisé pour « *témoigner des systèmes de culture économes et réussis, et pour contribuer à faire adopter ces stratégies gagnantes par d'autres exploitations extérieures au réseau dans une logique de généralisation* » (Reau et al., 2016). Proposé d'abord dans le cadre de la réduction de l'usage des pesticides, il relie chaque pratique agricole mise en œuvre dans le système à une ou plusieurs stratégies, définies pour gérer les bioagresseurs (guide STEPHY, Attoumani-Ronceux et al. (2011)) : action sur la population initiale, évitement, atténuation en culture et rattrapage. Sur cette base, nous proposons un *schéma logique d'action* pour représenter les logiques d'action de systèmes expérimentés, ou conçus en ateliers, et reposant sur les principes de l'agroécologie (plus large que la réduction des produits phytosanitaires du schéma décisionnel). Afin de soutenir la capitalisation des connaissances sur un système agroécologique contextualisé, nous avons proposé une liste de caractéristiques visant à favoriser le processus de décontextualisation décrit par Toffolini et al. (2016a), « *pour construire un sens générique* » à partir d'une expérience localisée, tout en facilitant sa réappropriation par d'autres (Chapitre 2). Pour cela, la logique d'action de l'agriculteur est détaillée : il s'agit d'expliciter les raisons de chaque choix technique effectué, en vue de répondre à l'objectif global, de rendre apparents les liens systémiques entre les différentes pratiques mises en œuvre, de mettre en évidence leur lien aux caractéristiques de la situation agricole décrite (ex. les raisons « locales » pour lesquelles un choix technique a été privilégié), d'expliciter les conditions de réussite et d'échec de la mise en œuvre d'une pratique. Cette 3ème ressource cognitive que nous avons produite permet à un nouveau concepteur de se saisir de ces expériences localisées afin d'imaginer une manière de faire dans une autre situation, et de réutiliser la solution décrite en mobilisant un raisonnement par analogie : en transférant certains traits de la solution (par exemple d'un sous-ensemble cohérent d'un système de culture), et en l'adaptant à son environnement, anticipant ainsi la mise en action. Le schéma permet également donner à voir des résultats d'évaluation d'une pratique innovante suite à sa mise en œuvre, c'est-à-dire comment le système agroécologique mis en œuvre, en interaction avec l'environnement, permet de satisfaire les résultats attendus, notamment les indicateurs retenus par le pilote du système, qui font sens pour lui pour évaluer les effets de ses actions. De plus, peu de travaux en agronomie s'intéressent à la capitalisation des connaissances acquises par l'erreur (à l'inverse, les ressources actuelles sont diffusées pour montrer « ce qui marche »). Or il est communément admis qu'on apprend également de ses erreurs, il semble donc intéressant d'expliciter et de partager des expériences plus ou moins réussies (ex. en identifiant les risques d'échecs, déjà expérimentés par les pilotes).

Alors que, jusqu'à présent, les travaux portant sur la formalisation de connaissances issues de systèmes agroécologiques performants s'étaient surtout concentrés sur la description de la logique du système de culture dans son entier, pour conserver les liens systémiques entre techniques (ex. schéma décisionnel), il apparait nécessaire d'initier une autre manière de formaliser des connaissances issues de systèmes. En effet, les systèmes de culture conçus et mis en œuvre, souvent complexes et surtout très contextualisés, ne peuvent jamais être transposés à l'identique dans d'autres situations que celle de leur mise en œuvre (du fait du changement de moyens disponibles, d'objectif du pilote, de conditions climatiques, de contexte socio-économique, etc). L'enjeu pour l'avenir est donc d'apprendre à identifier et décrire des sous-ensembles cohérents de ce système de culture, sans négliger leur caractère systémique. Le contributeur, producteur de connaissances issues de ce sous-système, devrait alors donner à voir la logique d'action systémique du pilote, c'est-à-dire une interprétation fonctionnelle du système, liée aux objectifs et aux choix techniques du pilote (Meynard et al., 2001). Nos résultats soulèvent ainsi de nouvelles questions, notamment sur la manière de représenter les relations systémiques entre les composantes de l'agroécosystème (produire des représentations systémiques), en envisageant des collaborations avec des designers pour représenter ces relations identifiées par des agronomes, facilement appropriables par les producteurs de ressources, et utilisables par les utilisateurs.

Les connaissances mobilisées pour concevoir des systèmes agroécologiques sont variées, à la fois fondamentales et issues de l'action (Girard and Magda, 2020; Toffolini et al., 2017), et décrivent des systèmes agroécologiques, des processus écologiques (ex. le fonctionnement des réseaux mycorhizien invisibles à l'œil nu), et des objets étudiés en agroécologie (ex. les auxiliaires). Ces connaissances sont détenues par des acteurs dispersés dans le territoire, et dans les organismes (Prost et al., 2017). La capitalisation de ces connaissances dans des ressources écrites permet de stimuler le partage de ces connaissances (ex. présenter dans un atelier une innovation technique d'un agriculteur d'une région très éloignée, l'agriculteur lui-même ne pouvant pas venir sur place). Plus largement, la mise à disposition des ressources cognitives dans une interface web permet de partager les connaissances vers une plus grande diversité d'acteurs (appartenant au même groupe de développement agricole ou participant, occasionnellement, à un même atelier de conception). Aujourd'hui, les acteurs impliqués dans la conception innovante de systèmes agroécologiques restent minoritaires : il est donc parfois difficile de solliciter (voire repérer) les acteurs susceptibles d'apporter des connaissances sur les objets et les fonctions déterminants pour les systèmes agroécologiques (en terme de disponibilité, turn-over des animateurs de groupes d'agriculteurs, départ en préretraite sans transfert de savoirs et de savoir-faire). Concernant le partage des ressources que nous avons produites (Chapitre 2), dans une plateforme web en ligne, elles ont été pensées en interaction avec le cadre existant de l'outil GECO, dans la mesure où des liens sémantiques peuvent être créés entre les trois ressources cognitives et les *fiches techniques* génériques de l'outil (ressource déjà existante au démarrage de ce travail). Ainsi, les techniques identifiées dans un *arbre d'exploration* ou dans un *tableau bioagresseur* pourront être reliées, par liens sémantiques, aux *fiches techniques* de GECO, où elles sont décrites de manière générique et plus détaillée, et aux *fiches exemples de mise œuvre* où elles sont décrites de manière située. Les ressources que nous avons produites ne sont pas encore implémentées dans l'outil GECO, mais les retours d'usage sur ces ressources (Chapitre 2) indiquent a priori un intérêt des utilisateurs potentiels et une projection dans différents types d'usages envisagés, pour accompagner les processus de conception, qu'ils soient individuels ou collectifs. De plus, la capacité du modèle sémantique de l'outil GECO à soutenir l'élargissement de la base de connaissances initiale du concepteur et permettre la construction des *arbres d'exploration*, pourrait être étudiée.

1.2. Les enjeux liés à la capitalisation des connaissances sur les systèmes agroécologiques

Notre étude contribue à un nouveau régime de production et de capitalisation des connaissances, par la valorisation de démarches *bottom-up*, déjà abordées dans des travaux précédents en agronomie (Salembier et al., 2018; Toffolini et al., 2016b). Alors que le régime dominant dans les dernières décennies reposait sur l'apport de connaissances scientifiques, et leur transformation en connaissances opérationnelles par les organismes de R&D agricole, puis leur transfert vers les agriculteurs pour une application directe (par exemple, de connaissances formulées sous forme de règles de décision génériques, applicable dans toute situation agricole), nous montrons que la combinaison entre ces connaissances scientifiques et des connaissances locales des agriculteurs, issues de l'action, permet de contribuer à des processus de conception. Un exemple est le réseau de semences paysannes, dans lesquels les agriculteurs, accompagnés par des acteurs de la R&D agricoles, conçoivent collectivement de nouvelles variétés de blé, adaptés à leurs situations de production et leurs objectifs personnels (Demeulenaere and Goldringer, 2017; van Frank et al., 2019). Nous retrouvons ce processus dans l'étude de pratiques innovantes d'agriculteurs, par la méthode de traque aux innovations en ferme (Salembier et al., 2016), qui génère différents types de contenus agronomiques : des témoignages, des logiques d'action générique, des gammes d'options techniques, des processus agronomiques décontextualisés illustrés en pratique, et des règles de décision. Ces auteurs soulignent que la mise en circulation des « *contenus agronomiques issus de l'étude des pratiques innovantes pouvaient, dans certains cas, directement servir l'exploration de nouvelles voies d'action* » (Salembier 2019). Cependant, certains témoignages ou gammes d'options techniques ne fournissent pas toujours les éléments nécessaires à la réutilisation des solutions pour imaginer une manière de faire dans une autre situation, ou l'émergence de nouvelles manières d'agir (générativité). Les ressources produites par les acteurs de la R&D foisonnement (ex. livrables de projets), produisant des références techniques sur des objets agronomiques, à partir de différents contenus : à l'échelle de la pratique individuelle pour partager des connaissances génériques ou situées, de combinaisons de techniques, du système de culture (ex. les livrables du réseau DEPHY, des GIEE, les témoignages vidéos d'OSAÉ, etc.). Face à ce foisonnement, très peu de travaux en agronomie se sont intéressés à l'utilité et l'utilisabilité de ces ressources produites par la R&D. Alors qu'elles semblent aujourd'hui peu mobilisées (Chapitre 3), et que l'usage de ces ressources pour la conception reste faible, il serait intéressant d'en analyser les raisons : est-ce un manque de motivation vers l'agroécologie et la reconception des systèmes, une formalisation inadéquate des connaissances restreignant leur usage, une mauvaise diffusion des ressources et communication des outils (ex. GECO est peu connu), le besoin des agents de développement de développer de nouvelles compétences, liée à un changement de postures (conseil tactique vers le conseil stratégique évoqué dans Cerf et al., 2012) ? Face à la grande diversité des types de ressources existantes, il semblerait intéressant d'étudier la manière dont elles soutiennent une ou plusieurs activités de conception de systèmes agroécologiques (ex. générer des solutions, accompagner la mise en œuvre, …). Or nous supposons que l'usage des ressources varie selon l'utilisateur : celui-ci sera différent chez un agent de développement qui accompagne un agriculteur dans le changement de pratiques, un agriculteur ayant déjà réduit l'usage des intrants de synthèse, un agriculteur n'ayant pas encore engagé de changement, un agriculteur qui souhaite reproduire des solutions stabilisées, qui ont fait leurs preuves chez de nombreux agriculteurs, un agriculteur isolé (Chantre, 2013).

La capitalisation et le partage de connaissances sur des (morceaux de) systèmes agroécologiques permettent de montrer qu'il est possible de « produire autrement », de diffuser des pratiques d'intérêt et contribuant à l'agroécologie (les « bonnes pratiques », les fiches CEPP), de fournir des procédures de « ce qu'il faudrait faire ». Néanmoins, le fait de donner à voir des innovations techniques

susceptibles de servir d'inspiration, notamment des résultats d'évaluation des pratiques expérimentées en station expérimentales, ou issues d'agriculteurs pionniers, ne suffit pas pour initier le changement de pratiques. Dans le réseau DEPHY, l'identification et la mise en visibilité des pratiques agronomiques, mises en œuvre par certains agriculteurs et permettant de réduire leur usage de pesticides, ne garantit pas leur adoption par d'autres, alors même qu'ils appartiennent au même réseau DEPHY (Guichard et al., 2017; Lechenet et al., 2017). Ces éléments soulignent l'intérêt de poursuivre des travaux sur l'accompagnement des agriculteurs dans le changement de leurs pratiques vers l'agroécologie, pour concevoir des systèmes agroécologiques « avec et pour » les agriculteurs, par le développement de démarches participatives (Périnelle et al., 2021), en reliant aux études sur l'analyse des trajectoires de changement de pratiques déjà mis en évidence (Chantre and Cardona, 2014).

Etant donné le régime dominant de production et de circulation des connaissances, longtemps mis en œuvre en agriculture dans les décennies passées, et sa mise en cause dans le cadre de la transition agroécologique (Compagnone et al., 2018b; Klerkx et al., 2012c; Landini et al., 2017), nos enquêtes (Chapitre 3) ont montré que la capitalisation et le partage de connaissances pour soutenir des processus de conception dans le cadre de l'agroécologie constituaient un vrai challenge pour les acteurs de la R&D agricole (De Tourdonnet et al., 2013). En effet, l'identification des connaissances intéressantes à produire à partir de la mise en œuvre d'un système agroécologique (une pratique, une combinaison de pratiques, ou un système de culture) n'est ni triviale ni aisée (tests contributeurs réalisés dans le Chapitre 2, entretiens du Chapitre 3). A notre connaissance, il y a peu de littérature sur la manière de capitaliser les connaissances pour faciliter la transition agroécologique, il apparaît donc nécessaire de s'interroger sur le renouvellement de la capitalisation des connaissances, au regard des ambitions de la France pour son *projet Agroécologique*. Ainsi, nous proposons d'identifier plusieurs **étapes successives pour favoriser cette capitalisation des connaissances**, à partir d'une situation d'action:

- **le repérage**/l'identification (ou la mise en œuvre) de dispositifs existants, dans lesquels des systèmes agroécologiques ont été mis en œuvre, avec des résultats intéressants, susceptibles de produire des connaissances originales et actionnables (ex. expérimentation-système ou système innovant chez un agriculteur) ;
- **la production et formulation de connaissances décontextualisées**, à partir de ces connaissances situées, pour les rendre accessibles à ceux qui ne connaissent pas la situation (ex. le partage de connaissances actionnables pour soutenir la mise en action ailleurs) ;
- **la confrontation de ces connaissances**, avec des connaissances produites sur le même objet dans d'autres contextes permet de monter en généricité (processus de contextualisation/décontextualisation des connaissances pour stimuler les apprentissages). Cette analyse transversale à différents cas permet également de compléter ou de préciser la gamme dans laquelle ces connaissances seront a priori valides ;
- **la formalisation de ces connaissances dans des ressources cognitives** de format standard favorise leur appropriation, qui vise à soutenir les processus de conception de systèmes agroécologiques. Cette étape **suppose d'anticiper l'usage des connaissances** formalisées : pour servir d'inspiration (tout en contrant l'effet de fixation), pour générer des nouvelles solutions, pour soutenir la mise en action, pour entrainer des apprentissages c'est-à-dire permettre à d'autres acteurs de développer de nouvelles compétences et connaissances ;
- **le partage** des connaissances et des ressources pour qu'elles soient utilisables plus largement ;
- l'utilisation de ces connaissances formalisées, dans de nouveaux contextes, par de nouveaux concepteurs, permet de les confronter à de nouvelles situations d'action, et ainsi de produire de nouveaux résultats (performances du nouveau système mis en œuvre), susceptibles **d'enrichir et d'actualiser la formulation de la connaissance**.

Ces étapes sont complémentaires des travaux de Grundstein (2000) qui a identifié quatre étapes dans la capitalisation des connaissances en entreprise : repérer, préserver, valoriser et actualiser. Ces étapes peuvent être réalisées par des acteurs différents, comme évoqué dans les travaux sur l'étude des pratiques innovantes qui soulignent que l'activité de production des connaissances (à partir de pratiques innovantes conçues et mises en œuvre par des agriculteurs pionniers), et l'activité d'analyse et de formalisation de ces connaissances sont parfois réalisées par différents acteurs (Salembier 2019). La coordination entre les acteurs concernés par ces six activités semble nécessaire, et souligne la dimension collective de la capitalisation des connaissances.

2. La capitalisation des connaissances pour favoriser la conception de systèmes agroécologiques : la dimension sociale/collective

2.1. Des pistes pour soutenir la capitalisation collective

2.1.1. Des dispositifs pour soutenir la capitalisation synchrone

Nos résultats soulignent que les producteurs de ressources cognitives, dans GECO ou ailleurs, qui se basent sur une dynamique collective pour ce faire, sont amenés à interagir de différentes manières : en face-à-face, à distance en mode synchrone, à distance en mode asynchrone. Dans le cadre de notre travail, nous avons expérimenté des ateliers collectifs de capitalisation qui visaient à documenter une expérience (ex. une expérimentation système) pour mettre à disposition des autres les connaissances originales et génératives pour la transition agroécologiques qui ont été produites à cette occasion (Chapitre 2). Ces ateliers ont permis d'identifier et de proposer des formalisations de ces connaissances, de manière synchrone, par la production d'une ou plusieurs ressources cognitives, en confrontant les réactions des personnes ayant piloté l'expérimentation, de celles qui cherchaient à la valoriser, et de personnes engagées dans des processus de conception (Chapitre 2).

Nos résultats montrent que le fait de réunir **des acteurs de différents métiers** dans ces ateliers est intéressant pour identifier et mettre en forme les connaissances : des acteurs qui mettent en place des essais, qui accompagnent les agriculteurs, des scientifiques qui mènent des travaux sur les processus de conception de systèmes agroécologiques, des entomologistes qui ont des connaissances sur les auxiliaires (et renseignent les trous de connaissances identifiés dans le *tableau bioagresseur*). Ces acteurs **retravaillent le langage utilisé dans les ressources**. En effet le langage doit être accessible et compréhensible par les concepteurs qui voudront utiliser les informations capitalisées (ex. d'indiquer le stade d'intervention des herbicides plutôt que le nom du produit appliqué). Avant de présenter *un arbre d'exploration* à une diversité d'acteurs agricoles lors d'un atelier d'exploration, un travail de reformulation des connaissances a été effectué par une animatrice pour permettre leur appropriation, en réutilisant des expressions des agriculteurs (ex. « en prenant de vitesse les adventices » ; « remettre en germination »).

Des acteurs extérieurs au processus de conception initial, conviés aux ateliers de capitalisation, avaient pour objectif de comprendre, d'évaluer et d'enrichir une ressource proposée par un acteur (ex. un *schéma logique d'action* produit par un conseiller agricole) : pour poursuivre le diagnostic réalisé par cet acteur, pour permettre une montée en généricité c'est-à-dire rendre les connaissances compréhensibles et pertinentes lors de leur exploitation future, par des concepteur de systèmes agroécologiques (en explicitant toutes les questions qui leur venaient en tête, même les questions « naïves » d'un acteur avec une faible expertise technique). Le conseiller agricole ayant développé la ressource répondait à ces interrogations, pour lever les implicites/les sous-entendus. Ces résultats vont

dans le sens des travaux sur le *design rationale*, autour de la construction de documents pour conserver la logique de conception et retracer les choix de conception « *qui ont conduit à la validation ou au rejet d'une solution de conception* » (Karsenty, 2001; Shum and Hammond, 1994). Dans cet objectif, plusieurs notation ont été développées, par exemple Question-Option-Criteria (MacLean et al., 1991). Karsenty (2001) préconise d'impliquer dans des séances (de capitalisation) « *des acteurs externes au processus de conception (…), des personnes extérieures au projet ayant des profils différents en termes de niveau d'expérience et de fonction. On s'assure ainsi d'obtenir des questions en partie différentes* », vis-à-vis de la ressource présentée.

Nos résultats montrent également que **l'implication des utilisateurs potentiels des ressources** dans les ateliers de capitalisation permet de faire évoluer la ressource en cours de construction vers une formulation qui semblait mieux convenir aux usagers potentiels, ces éléments vont dans le sens des travaux sur l'implication des utilisateurs dans la conception d'un outil (Béguin, 2003; Prost et al., 2012). Par exemple, les retours utilisateurs ont permis d'expliciter, de manière approfondie, les liens entre les traits fonctionnels d'un bioagresseur, les fonctions et les techniques pouvant agir sur ces fonction. De plus, une demande des concepteurs (agriculteurs, conseillers agricoles) était de voir apparaître dans *l'arbre d'exploration, et le tableau bioagresseur*, des informations concernant l'efficacité d'une technique pour atteindre une fonction à laquelle est elle associée. Ils souhaitaient également accéder à la facilité/difficulté d'acquisition du savoir-faire autour de cette technique (ex. la mise en œuvre de la technique requiert de nouvelles compétences, un nouveau matériel). Ainsi, les connaissances qui intéressent les utilisateurs sont à la fois des connaissances génériques sur la diversité des techniques mobilisables et des connaissances actionnables, sur la mise en œuvre des techniques qui leur paraissaient intéressantes. Nous réfléchissons à un « code » pour caractériser l'efficacité de la technique pour atteindre une fonction à laquelle elle est associée dans *l'arbre d'exploration* (bien que cette efficacité soit relative au contexte dans lequel elle est implémentée). Nous avons fait le choix de combiner plusieurs ressources en favorisant les liens entre elles (par des liens sémantiques dans l'outil GECO), plutôt que de présenter toutes les informations dans une seule et même ressource.

De plus, nos résultats montrent l'intérêt de réunir dans des ateliers de capitalisation **des acteurs de systèmes agricoles différents** (ex. filières et modes de production), pour présenter dans *l'arbre d'exploration*, et dans *la fiche bioagresseur*, un inventaire de solutions de modes de production différents (agriculture biologique, agriculture de conservation des sols). Ces propositions « décalées » élargissent l'espace d'exploration ouvrant ainsi la voie vers de nouvelles solutions, la base de connaissances initiales des concepteurs de systèmes agroécologiques, utilisateurs de ces ressources.

Nous avons **montré l'importance d'établir des dispositifs organisationnels pour soutenir la construction collective de certaines ressources.** Pour soutenir la production d'un *arbre d'exploration* (coll. CRA Normandie), nous avons proposé des cartes qui décrivent des techniques de manière différentes (ex. passer un rouleau FACA, passer un rouleau FACA au stade floraison du couvert). Les conseillers agricoles expliquent que l'utilisation des cartes ont permis d'accélérer le processus de construction de la ressource, mais ont également freiné la suggestion de nouvelles idées (la paresse sociale évoquée dans Brun (2017)). L'enjeu est de permettre la « synchronisation cognitive » des participants (Darses and Falzon, 1996), c'est-à-dire « *d'établir un contexte de connaissances mutuelles, de construire un référentiel commun* ». Il serait important et indispensable d'aller plus loin dans la proposition de tels dispositifs pour soutenir l'activité de capitalisation collective à partir de démarches *bottom up*, en explorant l'intérêt d'institutionnaliser leur développement dans le cadre de plans d'action publique. Par exemple, les groupes GEPACO du réseau DEPHY ont été mis en place dans le plan Ecophyto, dans l'objectif de capitaliser des

connaissances sur des techniques alternatives à l'usage des produits phytosanitaires (étape de confrontation des connaissances décrite dans la Section 1.2). Il serait intéressant d'étudier la manière dont ces groupes capitalisent les connaissances, les outils qu'ils mobilisent, et proposer des dispositifs innovants pour soutenir l'activité collective au sein de ces groupes.

2.1.2. Des dispositifs pour soutenir la capitalisation asynchrone

Nos résultats soulignent que la production des ressources, et la mise à jour de ces ressources, peuvent s'effectuer de manière asynchrone, ce qui d'actualiser une ressource en apportant une vision complémentaire et a priori enrichie, par rapport à celle des contributeurs précédents (Chapitre 3). La mise à jour des ressources, effectuée par des acteurs dispersés sur le territoire, permet de confronter les connaissances sur les pratiques alternatives (étapes décrites dans la Section 1.2), c'est-à-dire de croiser les regards, d'enrichir les domaines de validités (des acteurs de différents horizons, y compris pédoclimatiques).

Les travaux sur les communautés épistémiques en ligne renseignent sur la manière dont les développeurs produisent à distance des logiciels open source, une activité qui émerge de discussions en ligne, médiée par des outils « *la messagerie électronique, les forums de discussions, les listes de diffusion et les plateformes de travail coopératifs* » (Barcellini, 2009). Les listes de diffusions « *concernent les questions liées au développements des logiciels open source, c'est-à-dire l'évolution du logiciel et aux problèmes techniques que cela pose* » (Barcellini, 2009). Rappelons que les développeurs, qui conçoivent à distance des logiciels open source, sont des acteurs dont l'ordinateur est l'outil de travail privilégié, ce qui n'est pas le cas de tous les acteurs agricoles, et qui pourrait représenter une contrainte dans le développement d'un outil de travail collaboratif en ligne. Actuellement, la procédure de mise à jour d'un contenu dans l'outil GECO n'est pas transparente. En particulier, l'outil ne permet pas de conserver la trace des modifications effectuées (ex. possibilité de modifier le contenu sans validation au préalable des contributeurs initiaux, ce qui pourrait conduire à « changer » une connaissance, plutôt que de l'enrichir par de nouveaux aspects). Pour soutenir l'évolution des contenus dans cet outil, l'existence d'espaces de discussions pour étayer les échanges entre les contributeurs, producteurs des ressources cognitives, et entre les contributeurs et les utilisateurs des ressources est une réelle opportunité. Il serait intéressant de mettre en place dans la plateforme GECO de tels espaces, sans sous-estimer les contraintes que cela posera pour les utilisateurs (ex. connexion régulière). **Des scénarios de prescription de l'activité future** pourraient être réalisés pour projeter les acteurs dans des situations d'activités futures potentielles (Barcellini et al., 2013). Par exemple, l'outil GECO dispose aujourd'hui d'un forum, mais dont l'usage ne semble pas stabilisé (méfiance des acteurs à utiliser un forum ouvert, pas de motivation…). Des scénarios pourraient être réalisés avec les utilisateurs potentiels de GECO pour tester des évolutions possibles de l'outil (un forum ouvert déconnecté des ressources, un forum uniquement dédié aux contributeurs, producteurs des ressources). Ces scénarios pourraient permettre de définir avec les utilisateurs de la plateforme des règles de contribution et de favoriser l'animation du forum (ex. éviter la malveillance).

2.1.3. La capitalisation au sein des communautés de pratiques

Nos résultats montrent que les collectifs d'agriculteurs engagés dans le changement de leurs pratiques dans le cadre de la transition agroécologique, appréhendés dans la thèse comme des communautés de pratiques (Goulet et al., 2008; Wenger, 2000), se réunissent pour échanger, quasiment exclusivement à l'oral, sur les évolutions en cours de leurs pratiques (ex. les tours de plaine en saison). Ils utilisent fréquemment des espaces de discussion fermés pour échanger en instantané pendant la mise en action d'un système agroécologique, pour prendre des décisions à court terme, au niveau opérationnel pour adapter une technique à un instant donné, ou au niveau tactique à l'échelle de la campagne culturale

(ex. les applications mobiles WhatsApp, Landfiles). Nous constatons que la capitalisation de ce type de connaissances, produites pendant la mise en action, est faible : ce n'est jamais un objectif visé par le groupe. Les deux activités que sont l'implémentation d'un système agroécologique (supposant sa conception, son ajustement pas-à-pas, en lien étroit avec son évaluation in situ) et la capitalisation des connaissances sur ce système (l'analyse ex-post d'une dynamique au champ), sont toujours réalisées de manière distincte. Des travaux en agronomie produisent des outils et des démarches collectives pour accompagner la réalisation de diagnostics orientés vers l'action : « *le diagnostic est alors un élément clé pour actualiser sa représentation du système, de son état et de sa dynamique, mais aussi pour l'interpréter en vue de décider effectivement des actions à mettre en œuvre* » (Cerf et al., 2019). Les résultats du diagnostic sont partagés à un instant donné, entre un agriculteur et un conseiller agricole, ou au sein d'un groupe d'agriculteurs (Leclère et al., 2018; Périnelle et al., 2021), qui gardent en mémoire ces résultats. A notre connaissance, aucun travail ne rend compte de la manière dont les acteurs gardent trace des connaissances mobilisées pendant la mise en action, à la fois un agriculteur dans une dynamique de changement ou un conseiller dans son accompagnement, traces qui pourraient être mobilisées pour eux-mêmes dans d'autres situations, pour la communauté de pratiques, et en particulier pour d'autres. Rappelons que les connaissances produites dans ces communautés n'ont pas vocation à être transférées plus largement (Cohendet et al., 2003; De Tourdonnet et al., 2013). Par exemple, dans les communautés de pratiques autour de l'agriculture de conservation des sols (AC), « *les savoirs localisés au sens où leur validité s'applique à une situation locale ne sont mobilisables que par les personnes qui ont participés à leur construction. La capacité à traduire et mettre en forme les connaissances produites localement pour les rendre mobilisables par d'autres dans d'autres situations constitue un enjeu fort de l'accompagnement de l'AC* » (De Tourdonnet et al., 2013).

Or la littérature est unanime sur le fait que le changement de pratiques vers l'agroécologie sera fortement stimulé, et facilité, par le fait d'être nourri par des connaissances produites à partir des pratiques et observations des praticiens, caractéristiques de démarches *bottom-up*. Ainsi, la question de la capitalisation des connaissances produites dans et par l'action, au sein des communautés de pratiques ancrées sur le terrain, se pose. Par exemple, la capitalisation des connaissances produites au sein des GIEE est une question au cœur des préoccupations de l'APCA, en charge du développement d'une plateforme de partage de ces connaissances[32] (753 GIEE ont été reconnus en 2021). Cette piste pourrait faire l'objet de recherches ultérieures, sur l'organisation et l'accompagnement des collectifs, nécessaires et indispensables pour la capitalisation des connaissances pour le changement de pratiques vers l'agroécologie, en lien avec les travaux sur la production de connaissances actionnables pour favoriser la mise en action (Faugère et al., 2010; Toffolini et al., 2016b), et les travaux sur l'impact des forums agricoles (M. Prost et al., 2017), des réseaux sociaux et des webinaires[33] (de plus en plus développés dans le cadre de la pandémie covid-19), dans le changement de pratiques.

2.2. Les modèles de gouvernance

Nos enquêtes montrent que les acteurs de la R&D structurent de plus en plus souvent leurs activités dans le cadre de projets financés. Lorsque ces projets concernent des activités de conception de systèmes agroécologiques, ou des activités d'accompagnement des agriculteurs dans cette transition, ces acteurs sont amenés à capitaliser les connaissances produites dans des situations singulières et localisées, le plus souvent via la production de livrables, généralement envisagés et définis dès le

[32] Le nouveau site Internet sur les collectifs agroécologiques centralise les références des GIEE, des groupes DEPHY et des groupes 30 000. https://collectifs-agroecologie.fr/

[33] Par exemple, les webinaires organisé par l'Association Française d'Agronomie (AFA), en partenariat avec Agreenium, sur « les innovations d'agriculteurs pour la transition agroécologique »

début du projet. Ainsi, dans le réseau DEPHY-Ferme, chaque groupe d'agriculteurs engagés est animé par un(e) ingénieur(e) réseau (IR), financé(e) à mi-temps dans le cadre du Plan Ecophyto, qui produit des documents techniques à partir des innovations mises en œuvre chez les agriculteurs du groupe (Chapitre 3). Dans d'autres situations, la contribution repose sur le financement de primo-rédacteurs, dont une partie (ou la totalité) de l'activité est dédiée à la production de ressources, diffusées dans des plateformes en ligne telles que GECO et OSAÉ (les synthèses dont le contenu est écrit en interne, par des stagiaires ou des salariés). Ce financement est soit temporaire (via des projets de courte durée) soit pérenne (par l'embauche de personnes en CDI). Ces primo-rédacteurs réalisent et produisent sous la forme de ressources, soit des analyses transversales sur une pratique innovante, à partir d'une diversité d'expériences localisées (étape évoquée dans la Section 1.2), soit des synthèses issues de la littérature scientifique et technique. Ils coordonnent la relecture et la validation de ces fiches auprès d'acteurs sollicités volontaires. Ainsi, la production de ressources semble étroitement dépendante de la capacité des contributeurs à trouver des financements pour dégager et officialiser du temps de rédaction (nos résultats montrent en effet que la contribution spontanée dans GECO est rare). La question du modèle de participation dans un outil tel que GECO se pose (ex. participation volontaire), et est fortement reliée à la motivation des individus, et aux injonctions des institutions agricoles. Les intérêts des acteurs pour capitaliser des connaissances sont variés : pour favoriser le libre accès aux connaissances, pour être reconnus par ses pairs, parce que les ressources produites sont remobilisées par le contributeur dans ses propres activités (Chapitre 3), parce que c'est une obligation (en sachant que la nécessité de le faire n'est même pas toujours un moteur suffisant). Des analyses supplémentaires sur la contribution dans d'autres communautés agricoles (ex. l'Atelier Paysan) et non agricoles (ex. Tela Botanica, Wikipédia) pourraient fournir des pistes intéressantes.

Nous constatons l'émergence d'une multitude de plateformes en ligne, de sites Internet, qui partagent des inventaires de solutions techniques, génériques ou situées (rapport CGAAER Septembre 2020). Ces plateformes diffusent des références acquises par des acteurs de la R&D agricole : organismes de recherche, acteurs privés comme les coopératives agricoles et agro-alimentaires, Instituts techniques agricoles, et organismes de développement et conseil agricole comme les chambres d'agriculture et les ONVAR (Organismes Nationaux de Vocation Agricole et Rural). Les modèles de gouvernance des plateformes diffèrent, la gouvernance de certaines plateformes est pilotée par l'Etat, notamment dans le cadre de politiques publiques, et assurée par diverses structures, comme par exemples les plateformes R&D Agri (APCA), EcophytoPIC et GECO (administrées par l'ACTA), par des entreprises privées (Plateforme OSAÉ de Solagro), et des ONVAR (Plateforme de l'atelier Paysan). Ces plateformes ont parfois des thématiques spécifiques (ex. la protection intégrée des cultures, l'agroécologie, l'auto-construction de matériel agricole). Ce foisonnement de plateformes amène à la réalisation d'analyses transversales pour identifier les redondances (qui engendrent des pertes de ressources humaines) et les spécificités de chacune, et plus particulièrement les liens entre les modèles de gouvernance de ces plateformes et de participation des acteurs, directement reliés aux motivations des contributeurs (intrinsèques et extrinsèques). Par exemple, la contribution dans les plateformes EcophytoPIC est une injonction, une obligation pour les ingénieurs du réseau DEPHY, ce qui leur permet de dégager du temps pour produire des fiches, dans un contenu standardisé (ex. *les fiches Trajectoires*, les fiches *Pratiques remarquables*). Dans le cadre de l'Atelier Paysan, les travaux démontrent un réel engagement des salariés de la structure, dans la génération des plans décontextualisés, pour « *faire vivre une visée partagée de transformation de l'agriculture dans laquelle des agriculteurs ou des partenaires de la R&D, distribués dans les territoires, peuvent s'identifier et s'organiser pour explorer un même champ de conception* » (Salembier et al. 2020). Nous supposons que l'articulation entre la dimension cognitive et sociale de la capitalisation des

connaissances est une des explications de l'engagement des acteurs dans la participation à une plateforme, et le développement d'une communauté dynamique.

3. L'usage des ressources cognitives pour accompagner le processus de conception de systèmes agroécologiques

Nos résultats montrent que la capitalisation des connaissances via la production de ressources cognitives sur les systèmes agroécologiques ne suffit pas pour soutenir l'activité de génération de solutions, et dépend de l'implication d'animateurs qui accompagnent l'usage des ressources. Nous proposons de revenir sur la manière dont la mobilisation des ressources cognitives peut y contribuer, et sur les rôles de l'animateur, mobilisant ces ressources, dans cette activité/cet interface.

Nous avons identifié divers usages, par des concepteurs et par des animateurs, des ressources cognitives que nous avons produites (Chapitre 2). Les tests en situations réelles d'usage montrent la diversité des manières de mobiliser les ressources en atelier de conception : fournir à l'animateur un support de connaissances nouvelles, en dehors de la base de connaissance initiale de l'animateur, partager ces connaissances mutuelles entre les participants, ce faisant élargissant également la gamme de leurs connaissances, élargir les prémices de solutions pendant un atelier (ex. partager *un schéma logique d'action* sur une pratique innovante mise en œuvre par un agriculteur dans une autre région, construction *d'un arbre d'exploration* pendant l'atelier), synthétiser une exploration collective pour la communiquer à des collectifs susceptibles de travailler sur une cible proche (ex. construction d'un *arbre d'exploration* post-atelier). Nous constatons qu'il est difficile de mobiliser des ressources cognitives (version papier) dans des ateliers de conception, car les participants viennent d'abord pour échanger avec des pairs, et les agriculteurs ont une grande habitude de l'échange oral. Cependant, on peut imaginer que des discussions collectives pourraient être organisées autour *d'un schéma logique d'action* ou autour *d'un arbre d'exploration* (comme on a pu le voir dans certains ateliers). Un partage de ressources écrites a déjà pu être mis en place lors d'un atelier KCP (Berthet et al., 2020). Des travaux sur l'usage de ressources cognitives pour favoriser l'apprentissage coopératif pourraient faire l'objet de recherches ultérieures (ex. méthode « Jigsaw »[34] pourrait être mise en place dans un atelier de co-conception). Davantage d'analyses comparatives pourraient être effectuées sur les méthodes et les outils pour accompagner les processus de conception (en complément de l'analyse effectuée dans le chapitre 1 sur l'étape de génération de solutions adaptées localement), en s'interrogeant sur les fonctionnalités souhaitées des « outils d'aide à la conception » (ex. outil d'analyse des problèmes, outil d'aide à l'exploration d'idées nouvelles, outil d'aide à la décision, outil d'aide à l'évaluation par l'action). Des outils et méthodes pour accompagner les processus de conception à des échelles plus larges ouvrent également des perspectives intéressantes, autour de la prise de décision collective par des acteurs d'un territoire (sur la base des travaux existants autour des jeux sérieux (Della Rossa et al., 2020) et des outils d'optimisation (Pelzer et al., 2020)) ou par des acteurs engagés dans un processus d'innovation couplée (Meynard et al., 2017).

Ces éléments amènent à s'interroger sur le métier (et la transformation du métier) des agents de développement, qui accompagnent des agriculteurs dans le changement de pratiques vers l'agroécologie (De Tourdonnet et Brives, 2018; Faure et al., 2018, Chantre 2013, Klerkx et al., 2012a). Des travaux soulignent la diversité des postures des agents de développement, « *allant de l'expertise à l'animation et l'accompagnement ou la coproduction* » (Cerf et al., 2012b). Ces travaux mettent en

[34] La méthode Jigsaw est une méthode d'apprentissage coopératif développée par Aronson (1978). Dans notre cas, les ressources cognitive proposées sont partagées entre les participants à un atelier de co-conception, et chaque participant partage au groupe ce qu'il a appris (dans sa ressource).

lumière la diversité des manières d'accompagner les agriculteurs, certaines étant véhiculées par la posture historique d'une organisation et/ou par les politiques publiques (ex. un conseil neutre ou orienté (préconisation), un accompagnement gratuit ou payant, un accompagnement collectif ou individuel). Nous constatons que les communautés de pratiques reconfigurent les relations entre les agriculteurs et l'acteur qui anime ce groupe (ex. animation d'un groupe WhatsApp). Une des fonctions importantes des agents de développement qui accompagnent les agriculteurs dans le changement de pratiques, au cours d'ateliers de conception, est de créer un environnement favorable pour partager des références communes au sein du groupe. Cela s'apparente à la « synchronisation cognitive »[35] (ou *grounding*) décrite dans les travaux de l'ergonomie cognitive (Darses and Falzon, 1996). La réussite d'un atelier repose notamment sur l'animateur, qui rebondit sur les connaissances partagées, favorise la prise de décision collective pour faire avancer la conception de l'objet en cours, tout en gérant les conflits de valeurs autour des manières de produire (Jeuffroy et al., soumis). Concernant le partage de connaissances, l'animateur peut s'appuyer sur i) des ressources cognitives en facilitant l'appropriation des connaissances formalisées dans la ressource par le collectif et ii) le témoignage d'un expert scientifique ou technique (ex. un agriculteur sur la mise en œuvre d'une technique), tout en veillant à contrer le potentiel effet de fixation sur la solution présentée. De plus, les enquêtes menées dans le Chapitre 3 auprès des acteurs qui soutiennent l'activité de conception (ex. conseillers agricoles, enseignants, chercheurs) soulignent l'importance du réseau transversal aux institutions (ex des RMT, des GIS), pour partager des connaissances et des expériences, et monter en compétence sur les méthodes et les outils existants visant à soutenir l'animation de processus de conception, au sein d'un groupe local d'agriculteurs, et également auprès d'étudiants (les futurs conseillers de demain). De tels échanges sur des savoir-faire autour de la « capitalisation des connaissances collective et évolutive pour la conception » devraient être davantage organisés pour favoriser la montée en compétence autour de cette « nouvelle » activité.

Enfin, nos résultats montrent l'importance **des agents à l'interface entre la production et l'usage des ressources**, c'est-à-dire à l'interface entre les activités de capitalisation des connaissances (ex. une analyse ex-post d'une dynamique au champ, une analyse transversale à partir d'une diversité d'expériences localisées), et les activités de conception de systèmes agroécologiques, liées à l'implémentation de ces systèmes (son ajustement pas-à-pas, en lien étroit avec son évaluation in situ). Ces acteurs ont un rôle de coordination entre les acteurs concernés de près ou de loin par la capitalisation des connaissances sur les systèmes agroécologiques, pour mener les différentes activités décrites précédemment (Section 1.1.2).

[35] Trois activités cognitives ont été identifiées pour soutenir la synchronisation cognitive : l'établissement d'un référentiel commun, l'intégration des points de vue et la prise de décision (Darses 2009).

Conclusion générale

Favoriser le changement de pratiques vers l'agroécologie suppose de modifier en profondeur les systèmes agricoles. Ces changements sont favorisés notamment par la mise en place de processus de conception innovante. Ceux-ci reposent entre autre sur l'apport de connaissances sur des systèmes agroécologiques existants, innovants mais encore peu nombreux, pouvant servir d'inspiration, expérimentés en parcelles agricoles par des agriculteurs pionniers ou en stations expérimentales. Nous montrons que la capitalisation des connaissances issues de ces dispositifs, en vue de soutenir les processus de conception, est une activité en soi, consistant en l'identification de pratiques ou de systèmes innovants, leur analyse en vue d'identifier et de formaliser les connaissances issues de l'action, qui seront génératives (par l'hybridation de connaissances scientifiques et empiriques). De plus, l'enrichissement de ces connaissances et leur montée en généricité, sont favorisés par une confrontation de résultats obtenus dans différents contextes. Le partage de ces connaissances formalisées, dans des outils ouverts à tous, en ligne, permet de soutenir les processus de conception d'autres acteurs, et de stimuler les apprentissages sur les pratiques innovantes. En nous appuyant sur le cas de l'outil GECO, nous avons proposé un cadre socio-cognitif pour produire collectivement de nouvelles ressources cognitives, visant à soutenir l'exploration de solutions dans un processus de conception, basées sur la collaboration d'une diversité d'acteurs agricoles dispersés sur le territoire et dans les organismes. Nous montrons l'importance, pour favoriser cette formalisation de connaissances, de développer des interactions étroites entre les producteurs et les utilisateurs de ces ressources, ces derniers étant eux-mêmes concepteurs de systèmes agroécologiques engagés dans des communautés de pratiques. Nous proposons d'organiser un dispositif ouvert de capitalisation collective et asynchrone pour produire des ressources cognitives dans une plateforme en ligne telle que GECO. Pour faire évoluer ce dispositif socio-technique, les modes de participation et le modèle de gouvernance doivent être repensés : d'une part pour renforcer la participation par des formes de reconnaissance qui ne soient pas uniquement liées aux incitations institutionnelles (ex. dépendant de financements), et d'autre part pour renforcer l'animation de la communauté de contributeurs et d'utilisateurs. Des scénarios pourraient être réalisés pour faire évoluer le dispositif en projetant les contributeurs et utilisateurs de la plateforme dans des situations d'activités futures potentielles.

Références bibliographiques

Agogué, M., Kazakçi, A., Weil, B., Cassotti, M., 2011. The impact of examples on creative design : explaining fixation and stimulation effects, in: Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED'11). p. 10.

Agogué, M., Poirel, N., Pineau, A., Houdé, O., Cassotti, M., 2014. The impact of age and training on creativity: A design-theory approach to study fixation effects. Thinking Skills and Creativity 11, 33–41. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.10.002

Akrich, M., Callon, M., Latour, B., 1988a. A quoi tient le succès des innovations? Premier épisode : l'art de l'intéressement. Gérer et Comprendre 11, 4–17.

Akrich, M., Callon, M., Latour, B., 1988b. A quoi tient le succès des innovations? Deuxième épisode : l'art de choisir les bons porte-parole. Gérer et Comprendre 12, 14–29.

Allen, C.R., Angeler, D.G., Chaffin, B.C., Twidwell, D., Garmestani, A., 2019. Resilience reconciled. Nature Sustainability 2, 898–900. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0401-4

Altieri, M.A., 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. Agriculture, Ecosystems & Environment 93, 1–24. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3

Altieri, M.A., Nicholls, C.I., 2012. Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency, in: Lichtfouse, E. (Ed.), Sustainable Agriculture Reviews, Sustainable Agriculture Reviews. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 1–29. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5449-2_1

Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M.A., 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. Agron. Sustain. Dev. 35, 869–890. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2

Amossé, C., Celette, F., Jeuffroy, M.-H., David, C., 2013. Association relais blé / légumineuse fourragère en sytème céréalier biologique : une réponse pour le contrôle des adventices et la nutrition azotée des cultures. innovations agronomiques 32, 21–33.

Attoumani-Ronceux, A., Aubertot, J.-N., Guichard, L., Jouy, L., Mischler, P., Omon, B., Petit, M.-S., Pleyber, E., Reau, R., Seiler, A., 2011. Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. Application aux systèmes de polyculture.

Aubertot, J., Barbier, J.-M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., Voltz, M., 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, INRA/Cemagref 64.

Bakker, T., Dugué, P., de Tourdonnet, S., 2021. Assessing the effects of Farmer Field Schools on farmers' trajectories of change in practices. Agron. Sustain. Dev. 41, 18. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00667-2

Ballot, R., Thiollet-Scholtus, M., Jeuffroy, M.-H., 2019. Current on-farm glyphosate uses and alternative practices in France. Presented at the 6th International Symposium for Farming System Design.

Barcellini, F., 2015. Développer des interventions capacitantes en conduite du changement. Comprendre le travail collectif de conception, agir sur la conception collective du travail. (HDR). Université de Bordeaux.

Barcellini, F., 2009. Conception de l'artefact, conception du collectif : dynamique d'un processus de conception ouvert et continu dans une communauté de développement de logiciels libres: Résumé de la thèse de doctorat en Ergonomie.

Barcellini, F., Détienne, F., Burkhardt, J.-M., 2009. Participation in online interaction spaces: Design-use mediation in an Open Source Software community. International Journal of Industrial Ergonomics 39, 533–540. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2008.10.013

Barcellini, F., Détienne, F., Burkhardt, J.-M., 2008. User and developer mediation in an Open Source Software community: Boundary spanning through cross participation in online discussions. International Journal of Human-Computer Studies 66, 558–570. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.10.008

Barcellini, F., Van Belleghem, L., Daniellou, F., 2013. Les projets de conception comme opportunité de développement des activités, in: Ergonomie constructive. Presses Universitaires de France, p. 191. https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2013.01.0191

Béguin, P., 2003. Design as a mutual learning process between users and designers. Interacting with Computers 15, 709–730. https://doi.org/10.1016/S0953-5438(03)00060-2

Béguin, P., Rabardel, P., 2000. Designing for intrument-mediated activity. Scandinavian Journal of Information Systems 12.

Bellon, S., Ollivier, G., 2018. Institutionalizing Agroecology in France: Social Circulation Changes the Meaning of an Idea. Sustainability 10, 1380. https://doi.org/10.3390/su10051380

Bergez, J.E., Colbach, N., Crespo, O., Garcia, F., Jeuffroy, M.H., Justes, E., Loyce, C., Munier-Jolain, N., Sadok, W., 2010. Designing crop management systems by simulation. European Journal of Agronomy, Cropping Systems Design: new methods for new challenges 32, 3–9. https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.06.001

Berthet, E., 2014. Partie 3. Analyse empirique en plaine céréalière, in: Concevoir l'écosystème, Un Nouveau Défi Pour l'agriculture. pp. 167–199.

Berthet, E., Vourc'h, G., Athes, V., Brun, J., Meynard, J.-M., Prost, L., Salembier, C., 2018. Guide pratique : Piloter un processus collectif de conception innovante.

Berthet, E.T., Bosshardt, S., Malicet-Chebbah, L., van Frank, G., Weil, B., Segrestin, B., Rivière, P., Bernard, L., Baritaux, E., Goldringer, I., 2020. Designing Innovative Management for Cultivated Biodiversity: Lessons from a Pioneering Collaboration between French Farmers, Facilitators and Researchers around Participatory Bread Wheat Breeding. Sustainability 12, 605. https://doi.org/10.3390/su12020605

Berthet, E.T., Hickey, G.M., Klerkx, L., 2018. Opening design and innovation processes in agriculture: Insights from design and management sciences and future directions. Agricultural Systems 165, 111–115. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.004

Berthet, E.T.A., Barnaud, C., Girard, N., Labatut, J., Martin, G., 2016. How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. Journal of Environmental Planning and Management 59, 280–301. https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1009627

Bisseret, A., Figeac-Létang, C., Falzon, P., 1988. Modélisation de raisonnements opportunistes : l'activité des spécialistes de régulation des carrefours à feux. Psychologie Française 33, 161–169.

Bonnardel, N., 2009. Activités de conception et créativité : de l'analyse des facteurs cognitifs à l'assistance aux activités de conception créatives. Le travail humain Vol. 72, 5–22.

Bonnardel, N., 2000. Towards understanding and supporting creativity in design: analogies in a constrained cognitive environment. Knowledge-Based Systems 13, 505–513. https://doi.org/10.1016/S0950-7051(00)00067-8

Bonnardel, N., 1999. L'évaluation réflexive dans la dynamique de l'activité du concepteur, in: Pilotage et évaluation des processus de conception. pp. 87–105.

Bos, B., Groot Koerkmap, P., Gosselink, J., Bokma, S., 2009. Reflexive Interactive Design and its Application in a Project on Sustainable Dairy Husbandry Systems. Outlook on Agriculture 38, 137–145.

Boulestreau, Y., Casagrande, M., Mireille, N., 2019. Co-designing crop diversification strategies from plot to sociotechnical system to manage root knot nematodes in Mediterranean market gardening systems, in: European Conference on Crop Diversification 2019 (ECCD2019). Budapest, Hungary. https://doi.org/10.5281/zenodo.3784275

Brun, J., 2017. Modéliser le pouvoir expansif de la structuration des connaissances en conception innovante : mise en évidence des effets génératifs du K-preordering grâce à l'étude du non-verbal (These de doctorat). Paris Sciences et Lettres (ComUE).

Brun, J., Le Masson, P., Weil, B., 2018. Getting inspiration or creating inspiration ? The role of knowledge structures in idea generation. Presented at the 15th International Design Conference, pp. 1793–1804. https://doi.org/10.21278/idc.2018.0196

Brun, J., Le Masson, P., Weil, B., 2016. Designing with sketches: the generative effects of knowledge preordering. Design Science 2. https://doi.org/10.1017/dsj.2016.13

Burkhardt, J.-M., Détienne, F., 1995. La réutilisation des solutions en conception de programme informatiques. Psychologie Française 40, 85–98.

Butault, J.-P., Dedryver, C.-A., Gary, C., Guichard, L., Jacquet, F., Meynard, J.M., Nicot, P.P., Pitrat, M., Reau, R., Sauphanor, B., Savini, I., Volay, T., 2010. Synthèse du rapport d'étude Écophyto R&D : quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? (Technical Report). INRA Editions. https://doi.org/10.15454/r7ae-b824

Caron, P., Biénabe, 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. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.004

Catalogna, M., Dubois, M., Navarrete, M., 2018. Diversity of experimentation by farmers engaged in agroecology. Agronomy for Sustainable Development 38. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0526-2

Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., Meynard, J.-M., 2012a. Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations. Agronomy for Sustainable Development 32, 899–910. https://doi.org/10.1007/s13593-012-0091-z

Cerf, M., Meynard, J.-M., 2006. Les outils de pilotage des cultures : diversité de leurs usages et enseignements pour leur conception. Natures Sciences Sociétés 14, 19–29. https://doi.org/10.1051/nss:2006004

Cerf, M., Omon, B., Barbier, C., David, O., Delbos, C., Gagneur, C.-A., Guillot, M.-N., Lusson, J.-M., Minas, A., Mischler, P., Olry, P., Petit, M.S., 2012b. Les métiers d'agent de développement agricole en débat: Comment accompagner des agriculteurs qui changent leur façon de cultiver en grandes cultures? 22.

Cerf, M., Parnaudeau, V., Reau, R., 2019. Vers un diagnostic agronomique stratégique traitant de questions agro-environnementales. Agronomie, Environnement & Sociétés 9, 27–37.

Chantre, E., 2013. L'apprentissage des agriculteurs en transition agroenvironnementale. Pour N° 219, 141–150.

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, 573–602. https://doi.org/10.1080/21683565.2013.876483

Chave, M., Angeon, V., Paut, R., Collombet, R., Tchamitchian, M., 2019. Codesigning biodiversity-based agrosystems promotes alternatives to mycorrhizal inoculants. Agronomy for Sustainable Development 39. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0594-y

Cohendet, P., Créplet, F., Dupouët, O., 2003. Innovation organisationnelle, communautés de pratique et communautés épistémiques : le cas de Linux. Revue française de gestion 146, 99–121. https://doi.org/10.3166/rfg.146.99-121

Colnenne-David, C., Doré, T., 2015. Designing innovative productive cropping systems with quantified and ambitious environmental goals. Renewable Agriculture and Food Systems 30, 487–502. https://doi.org/10.1017/S1742170514000313

Compagnone, C., Lamine, C., Dupré, L., 2018a. La production et la circulation des connaissances en agriculture interrogées par l'agro-écologie. De l'ancien et du nouveau.

Revue d'anthropologie des connaissances 12.

Compagnone, C., Lamine, C., Dupré, L., 2018b. The production and circulation of agricultural knowledge as interrogated by agroecology. Revue d'anthropologie des connaissances Vol. 12, N°2, a-aa.

Conein, B., 2004. Communautés épistémiques et réseaux cognitifs: coopération et cognition distribuée. Revue d'Economie Politique 141–159.

Coolsaet, B., 2016. Towards an agroecology of knowledges: Recognition, cognitive justice and farmers' autonomy in France. Journal of Rural Studies 47, 165–171. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.07.012

Crilly, N., Cardoso, C., 2017. Where next for research on fixation, inspiration and creativity in design? Design Studies 50, 1–38. https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.02.001

Cristofari, H., Girard, N., Magda, D., 2018. How agroecological farmers develop their own practices: a framework to describe their learning processes. Agroecology and Sustainable Food Systems 42, 777–795. https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1448032

Cross, N., 2008. Engineering Design Methods: Strategies for Product Design (4th ed.). John Wiley & Sons, Chichester.

Damour, G., Dorel, M., Quoc, H.T., Meynard, C., Risède, J.-M., 2014. A trait-based characterization of cover plants to assess their potential to provide a set of ecological services in banana cropping systems. European Journal of Agronomy 52, 218–228. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.004

Darré, J.-P., 1999. 5. La production de connaissance dans les groupes locaux d'agriculteurs, in: Chauveau, J.-P., Cormier Salem, M.-C., Mollard, É. (Eds.), L'innovation en agriculture. IRD Éditions, pp. 93–112. https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.15726

Darses, F., 2009. Résolution collective des problèmes de conception. Le travail humain Vol. 72, 43–59. https://doi.org/10.3917/th.721.0043

Darses, F., 2004. Chapitre premier. La conception participative : vers une théorie de la conception centrée sur l'établissement d'une intelligibilité mutuelle, in: Caelen, J. (Ed.), Le Consommateur Au Cœur de l'innovation, Sociologie. CNRS Éditions, Paris, pp. 25–41.

Darses, F., Détienne, F., Visser, W., 2004a. 33. Les activités de conception et leur assistance, in: Ergonomie, Hors collection. Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, pp. 545–563. https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2004.01.0545

Darses, F., Détienne, F., Visser, W., 2004b. 33. Les activités de conception et leur assistance, in: Ergonomie, Hors collection. Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, pp. 545–563. https://doi.org/10.3917/puf.falzo.2004.01.0545

Darses, F., Falzon, P., 1996. La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive, in: Coopération et Conception.

Darses, F., Reuzeau, F., 2004. 24. Participation des utilisateurs à la conception des systèmes

et dispositifs de travail, Ergonomie. Presses Universitaires de France.

de Marguerye, A., Dumas, M., Carre, M., Vromandt, C., 2018. Concevoir des ressources pour améliorer l'appropriation de systèmes de culture économes en pesticides (ECORESSOURCE). Innovations Agronomiques 63, 1–16.

De Oliveira, T., Bertrand, M., Roger-Estrade, J., 2012. Short-term effects of ploughing on the abundance and dynamics of two endogeic earthworm species in organic cropping systems in northern France. Soil and Tillage Research 119, 76–84. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.12.008

De Tourdonnet, S., Brives, H., 2018. Innovation agro-écologique : comment mobiliser des processus écologiques dans les agrosystèmes ?, in: Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires. pp. 71–80.

De Tourdonnet, S., Brives, H., Denis, M., Omon, B., Thomas, F., 2013. Accompagner le changement en agriculture: du non labour à l'agriculture de conservation. Agronomie, Environnement & Sociétés 3, 15.

Deffontaines, L., Mottes, C., Della Rossa, P., Lesueur-Jannoyer, M., Cattan, P., Le Bail, M., 2020. How farmers learn to change their weed management practices: Simple changes lead to system redesign in the French West Indies. Agricultural Systems 179, 102769. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102769

Della Rossa, P., 2020. Conception collective d'organisations territoriales innovantes pour une évolution coordonnée de systèmes de production agricoles. Cas d'une réduction de la pollution herbicide d'une rivière en Martinique (phdthesis). Université Paris-Saclay.

Della Rossa, P., Le Bail, M., Mottes, C., Jannoyer, M., Cattan, P., 2020. Innovations developed within supply chains hinder territorial ecological transition: the case of a watershed in Martinique. Agronomy for Sustainable Development 40. https://doi.org/10.1007/s13593-020-0613-z

Demazière, D., Horn, F., Zune, M., 2007. Des relations de travail sans règles ?L'énigme de la production des logiciels libres. Sociétés contemporaines 66, 101–125. https://doi.org/10.3917/soco.066.0101

Demeulenaere, É., Goldringer, I., 2017. Semences et transition agroécologique : initiatives paysannes et sélection participative comme innovations de rupture. Nat. Sci. Soc. 25, S55–S59. https://doi.org/10.1051/nss/2017045

Détienne, F., 2006. Collaborative design: Managing task interdependencies and multiple perspectives. Interacting with Computers 18, 1–20. https://doi.org/10.1016/j.intcom.2005.05.001

Détienne, F., 2003. Memory of past designs: distinctive roles in individual and collective design. International Journal of Cognitive Technology 16–24.

Détienne, F., Baker, M., Bail, C.L., 2019. Ideologically-Embedded Design: Community, collaboration and artefact. International Journal of Human-Computer Studies 131, 72–80.

https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.06.003

Détienne, F., Barcellini, F., Baker, M., Burkhardt, J.-M., Fréard, D., 2012a. Online epistemic communities: theoretical and methodological directions for understanding knowledge co-elaboration in new digital spaces. Work 41, 3511–3518. https://doi.org/10.3233/WOR-2012-1036-3511

Détienne, F., Barcellini, F., Burkhardt, J.-M., 2012b. Participation à la conception et qualité du produit dans les communautés en ligne épistémiques : nouvelles directions de recherche en ergonomie des activités de conception. Activites 09. https://doi.org/10.4000/activites.147

Détienne, F., Barcellini, F., Burkhardt, J.-M., 2010a. 5. La conception dans les communautés en ligne : questionnements thématiques et méthodologiques sur ces nouvelles pratiques, Ergonomie, conception de produits et services médiatisés. Presses Universitaires de France.

Détienne, F., Barcellini, F., Burkhardt, J.-M., 2010b. 5. La conception dans les communautés en ligne : questionnements thématiques et méthodologiques sur ces nouvelles pratiques, in: Ergonomie, conception de produits et services médiatisés, Le Travail humain. Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, pp. 103–127. https://doi.org/10.3917/puf.lepo.2010.01.0103

Détienne, F., Rouet, J.-F., Deleuze-Dordron, C., Burkhardt, J.-M., 1996. Reusing processes and documenting processes: toward an integrated framework. Presented at the European Conference on Cognitive Ergonomics, p. 8.

Deytieux, V., Vivier, C., Minette, S., Nolot, J.M., Piaud, S., Schaub, A., Lande, N., Petit, M.S., Reau, R., Fourrié, L., Fontaine, L., 2012. Expérimentation de systèmes de culture innovants: avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. Innovations Agronomiques 20, 49–78.

Ditzler, L., Klerkx, L., Chan-Dentoni, J., Posthumus, H., Krupnik, T.J., Ridaura, S.L., Andersson, J.A., Baudron, F., Groot, J.C.J., 2018. Affordances of agricultural systems analysis tools: A review and framework to enhance tool design and implementation. Agricultural Systems 164, 20–30. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.03.006

Dolinska, A., d'Aquino, P., 2016. Farmers as agents in innovation systems. Empowering farmers for innovation through communities of practice. Agricultural Systems 142, 122–130. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.11.009

Doré, T., Bellon, S., 2019a. Pourquoi tout le monde n'est pas d'accord, in: Les Mondes de l'agroécologie, Enjeux Sciences. Versailles, France, pp. 85–116.

Doré, T., Bellon, S., 2019b. Figures historiques et contemporaines de l'agroécologie, in: Les Mondes de l'agroécologie, Enjeux Sciences. Versailles, France, pp. 6–20.

Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., Tittonell, P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. European Journal of Agronomy 34, 197–210. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006

Dorst, K., Cross, N., 2001. Creativity in the design process: co-evolution of problem–solution. Design Studies 22, 425–437. https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00009-6

Eastman, C.M., 1969. Cognitive Processes and III-Defined Problems: A Case Study from Design, in: IJCAI.

Ermine, J.-L., 2003. La gestion des connaissances. Hermes Sciences Publications.

Faugère, E., Navarrete, M., Charles, M., Étienne, M., Fauriel, J., Lasseur, J., Lécrivain, É., Napoléone, M., Paratte, R., 2010. Des connaissances scientifiques en quête de connaissances d'acteurs. Nat. Sci. Soc. 18, 395–403. https://doi.org/10.1051/nss/2011002

Faure, G.O., Chiffoleau, Y., Goulet, F., Temple, L., Touzard, J.-M., 2018. Le conseil aux exploitations agricoles pour faciliter l'innovation: entre encadrement et accompagnement, in: Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires. pp. 163–178.

Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoeft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C., Poincelot, R., 2003. Agroecology: The Ecology of Food Systems. Journal of Sustainable Agriculture 22, 99–118. https://doi.org/10.1300/J064v22n03_10

Fréard, D., Barcellini, F., Détienne, F., Baker, M., Burkhardt, J.-M., 2012. Comprendre l'activité collaborative dans des communautés épistémiques en ligne: une approche socio-cognitive, in: SELF 2012.

Fréard, D., Denis, A., Détienne, F., Baker, M., Quignard, M., Barcellini, F., 2010. The role of argumentation in online epistemic communities: the anatomy of a conflict in Wikipedia 9.

Garnier, E., Navas, M.-L., 2012. A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. Agronomy for Sustainable Development 32, 365–399. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0036-y

Geertsema, W., Rossing, W.A., Landis, D.A., Bianchi, F.J., Rijn, P.C. van, Schaminée, J.H., Tscharntke, T., Werf, W. van der, 2016. Actionable knowledge for ecological intensification of agriculture. Frontiers in Ecology and the Environment 14, 209–216. https://doi.org/10.1002/fee.1258

Gero, J.S., 1990. Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design. AI Magazine 11, 26–36.

Gero, J.S., Kannengiesser, U., 2004. The situated function–behaviour–structure framework. Design Studies 25, 373–391. https://doi.org/10.1016/j.destud.2003.10.010

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, 949–967. https://doi.org/10.1108/JKM-02-2015-0049

Girard, N., 2014. Gérer les connaissances pour tenir compte des nouveaux enjeux industriels: *L'exemple de la transition écologique des systèmes agricoles*. Revue internationale de

Psychosociologie XIX, 51. https://doi.org/10.3917/rips.049.0049

Girard, N., Magda, D., 2020. The interplays between singularity and genericity of agroecological knowledge in a network of livestock farmers. Journal of Rural Studies 73, 214–224. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.11.003

Girard, N., Magda, D., 2018. Les jeux entre singularité et généricité des savoirs agro-écologiques dans un réseau d'éleveurs. Revue d'anthropologie des connaissances 12, N°2, 199–228. https://doi.org/10.3917/rac.039.0199

Gliessman, S., 2018. Defining Agroecology. Agroecology and Sustainable Food Systems 42, 599–600. https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1432329

Gliessman, S.R., 1995. 3 Sustainable agriculture: An agroecological perspective, in: Andrews, J.H., Tommerup, I.C. (Eds.), Advances in Plant Pathology. Academic Press, pp. 45–57. https://doi.org/10.1016/S0736-4539(06)80005-X

Goel, V., Pirolli, P., 1992. The structure of Design Problem Spaces. Cognitive Science 16, 395–429. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1603_3

Goulet, F., 2008. Des tensions épistémiques et professionnelles en agriculture: Dynamiques autour des techniques sans labour et de leur évaluation environnementale. Revue d'anthropologie des connaissances 2, 2, 291. https://doi.org/10.3917/rac.004.0291

Goulet, F., Pervanchon, F., Conteau, C., Cerf, M., 2008. Les agriculteurs innovent par eux-memes pour leurs systemes de culture, in: Systemes de Culture Innovants et Durables : Quelles Methodes Pour Les Mettre Au Point et Les Evaluer ? / Reau Raymond (Ed.), Dore Thierry (Ed.). Educagri ed., Dijon, pp. 53–69.

Grundstein, M., 2000. Problématique, Axe de progrès, Orientations 21.

Guichard, L., Ballot, R., Halska, J., Lambert, E., Meynard, J.M., Minette, S., Petit, M.S., Reau, R., Soulignac, V., 2015. AgroPEPS, a collaborative web tool of knowledge management to Share, Practice, Inform on sustainable cropping systems. Innovations Agronomiques 43, 83–94.

Guichard, L., Dedieu, F., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Reau, R., Savini, I., 2017. Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer. Cahiers Agricultures 26, 14002. https://doi.org/10.1051/cagri/2017004

Guillot, M.-N., Cerf, M., Petit, M.-S., Olry, P., Omon, B., 2013. Développer la capacité des conseillers à agir face à la diversité des situations de conseil en grande culture. economierurale 5, 59–74. https://doi.org/10.4000/economierurale.4105

Hatchuel, A., 2001. Towards Design Theory and Expandable Rationality: The Unfinished Program of Herbert Simon. Journal of Management & Governance 5, 260–273. https://doi.org/10.1023/A:1014044305704

Hatchuel, A., Chen, M.K., 2017. Creativity under Strong Constraints: the Hidden Influence of Design Models. European Review 25, 194–207. https://doi.org/10.1017/S1062798716000557

Hatchuel, A., Le Masson, P., Reich, Y., Weil, B., 2011. A systematic approach of design theories using generativeness and robustness 12.

Hatchuel, A., Weil, B., 2009. C-K design theory: an advanced formulation. Research in Engineering Design 19, 181–192. https://doi.org/10.1007/s00163-008-0043-4

Hatchuel, A., Weil, B., 2002. La théorie CK : Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. Presented at the Sciences de la conception, Lyon, p. 24.

Heaton, L., Proulx, S., 2012. La construction locale d'une base transnationale de données en botanique. Revue d'anthropologie des connaissances Vol. 6, n° 1, 141–162.

Hill, S.B., MacRae, R.J., 1996. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. Journal of Sustainable Agriculture 7, 81–87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07

Ingram, J., 2008. Agronomist–farmer knowledge encounters: an analysis of knowledge exchange in the context of best management practices in England. Agriculture and Human Values 25, 405–418. https://doi.org/10.1007/s10460-008-9134-0

Jacquet, F., Butault, J.-P., Guichard, L., 2011. An economic analysis of the possibility of reducing pesticides in French field crops. Ecological Economics 70, 1638–1648. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.04.003

Jansson, D.G., Smith, S.M., 1991. Design fixation. Design Studies 12, 3–11. https://doi.org/10.1016/0142-694X(91)90003-F

Jeuffroy, M.-H., Ravier, C., Lenoir, A., 2019. APPI-N: une nouvelle approche pour le raisonnement de la ferti-lisation azotée du blé. Agriculture, Environnement & Sociétés 9, 65–74.

Joachim, G., Safin, S., Roosen, M., 2012. Les représentations externes en collaboration créative.Etude d'un cas de réunions de conception architecturale. Presented at the ScaN 2012 : Séminaire de Conception Architecturale Numérique.

Karsenty, L., 2001. Méthodes pour la création de mémoires de projet en conception. Revue Française de Gestion Industrielle 17.

Karsenty, L., 1996. An empirical evaluation of design rationale documents, in: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Common Ground - CHI '96. Presented at the the SIGCHI conference, ACM Press, Vancouver, British Columbia, Canada, pp. 150–156. https://doi.org/10.1145/238386.238462

Klerkx, L., Schut, M., Leeuwis, C., Kilelu, C., 2012a. Advances in Knowledge Brokering in the Agricultural Sector: Towards Innovation System Facilitation. IDS Bulletin 43, 53–60. https://doi.org/10.1111/j.1759-5436.2012.00363.x

Klerkx, L., van Bommel, S., Bos, B., Holster, H., Zwartkruis, J.V., Aarts, N., 2012b. Design process outputs as boundary objects in agricultural innovation projects: Functions and limitations. Agricultural Systems 113, 39–49. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.07.006

Klerkx, L., van Mierlo, B., Leeuwis, C., 2012c. Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions, in: Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, B. (Eds.), Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 457–483. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_20

Kraut, R.E., Resnick, P., 2011. Encouraging contribution to online communities, in: Building Successful Online Communities: Evidence-Based Social Design. p. 44.

Lacombe, C., Couix, N., Hazard, L., 2018. Designing agroecological farming systems with farmers: A review. Agricultural Systems 165, 208–220. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.014

Lacoste, M., Powles, S., 2016. Beyond modelling: considering user-centred and post-development aspects to ensure the success of a decision support system. Computers and Electronics in Agriculture 121, 260–268. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.003

Landais, E., Deffontaines, J.-P., Benoît, M., 1988. Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. Études rurales 109, 125–158. https://doi.org/10.3406/rural.1988.3226

Landini, F., Brites, W., Mathot y Rebolé, M.I., 2017. Towards a new paradigm for rural extensionists' in-service training. Journal of Rural Studies 51, 158–167. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.02.010

Le Bail, C., 2020. Values and argumentation in collaborative design. CoDesign.

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, 714–728. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.07.007

Le Masson, P., Hatchuel, A., Weil, B., 2016. Design theory at Bauhaus: teaching "splitting" knowledge. Research in Engineering Design 27, 91–115. https://doi.org/10.1007/s00163-015-0206-z

Le Masson, P., Weil, B., 2010. La conception innovante comme mode d'extension et de régénération de la conception réglée : les expériences oubliées aux origines des Bureaux d'études. Entreprises et histoire 58, 51. https://doi.org/10.3917/eh.058.0051

Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A., 2014. Théorie, méthodes et organisations de la conception, Presse des Mines.

Lechenet, M., Dessaint, F., Py, G., Makowski, D., Munier-Jolain, N., 2017. Reducing pesticide use while preserving crop productivity and profitability on arable farms. Nature Plants 3, 1–6. https://doi.org/10.1038/nplants.2017.8

Leclère, M., Loyce, C., Jeuffroy, M.-H., 2018. Growing camelina as a second crop in France: A participatory design approach to produce actionable knowledge. European Journal of Agronomy 101, 78–89. https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.08.006

Lefeuvre, T., Jeuffroy, M.-H., Loyce, C., Valantin-Morison, M., Meynard, J.-M., 2021. Management of design workshops for innovative cropping systems and decision support tools: learnings from 12 case studies. Presented at the 7th International Symposium for Farming System Design.

Lefèvre, V., Capitaine, M., Peigné, J., Roger-Estrade, J., 2014. Farmers and agronomists design new biological agricultural practices for organic cropping systems in France. Agron. Sustain. Dev. 34, 623–632. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0177-2

Lemaire, G., Jeuffroy, M.-H., Gastal, F., 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. European Journal of Agronomy 28, 614–624. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.005

Leplat, J., Hoc, J.-M., 1983. Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. Cahier de Psychologie Cognitive 3, 49–63.

Lièvre, P., Bonnet, E., Laroche, N., 2016. XXI. Etienne Wenger. Communauté de pratique et théorie sociale de l'apprentissage, in: Les grands auteurs en management de l'innovation et de la créativité, Grands auteurs. EMS Editions, pp. 427–447.

Linsey, J.S., Tseng, I., Fu, K., Cagan, J., Wood, K.L., Schunn, C., 2010. A Study of Design Fixation, Its Mitigation and Perception in Engineering Design Faculty. Journal of Mechanical Design 132. https://doi.org/10.1115/1.4001110

Lorin, M., Jeuffroy, M.-H., Butier, A., Valantin-Morison, M., 2016. Undersowing winter oilseed rape with frost-sensitive legume living mulch: Consequences for cash crop nitrogen nutrition. Field Crops Research 193, 24–33. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.002

MacLean, A., Young, R.M., Bellotti, V., Moran, T., 1991. Questions, Options, and Criteria: Elements of Design Space Analysis. Human–Computer Interaction 6, 201–250.

Martin, G., 2015. A conceptual framework to support adaptation of farming systems – Development and application with Forage Rummy. Agricultural Systems 132, 52–61. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.013

Martin, G., Allain, S., Bergez, J.-E., Burger-Leenhardt, D., Constantin, J., Duru, M., Hazard, L., Lacombe, C., Magda, D., Magne, M.-A., Ryschawy, J., Thénard, V., Tribouillois, H., Willaume, M., 2018. How to Address the Sustainability Transition of Farming Systems? A Conceptual Framework to Organize Research. Sustainability 10, 2083. https://doi.org/10.3390/su10062083

Martin, G., Magne, M.A., 2015. Agricultural diversity to increase adaptive capacity and reduce vulnerability of livestock systems against weather variability – A farm-scale simulation study. Agriculture, Ecosystems & Environment 199, 301–311. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.006

Martin, G., Martin-Clouaire, R., Duru, M., 2013. Farming system design to feed the changing world. A review. Agron. Sustain. Dev. 33, 131–149. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0075-4

Meynard, J.-M., 2017. L'agroécologie, un nouveau rapport aux savoirs et à l'innovation. OCL. https://doi.org/10.1051/ocl/2017021

Meynard, J.-M., 2016. Les savoirs agronomiques pour le développement : diversité et dynamiques de production. Agriculture, Environnement & Sociétés 6.

Meynard, J.-M., 2008. Produire Autrement : réinventer les systèmes de culture, in: Systemes de Culture Innovants et Durables : Quelles Methodes Pour Les Mettre Au Point et Les Evaluer ? pp. 11–27.

Meynard, J.-M., Cerf, M., Fiorelli, J.-L., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., Lefèvre, A., Navarrete, M., Pernel, J., Perrin, B., Prost, L., Reau, R., Salembier, C., Toffolini, Q., 2019. The step- by-step approach for farming systems design and transition. Presented at the 6th International Symposium for Farming Systems Design, Montevideo, Uruguay.

Meynard, J.-M., Dedieu, Benoit, Bos, A.P., 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices, in: Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, Benoît (Eds.), Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 405–429. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18

Meynard, J.-M., Doré, 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, 223–236.

Meynard, J.-M., Dourmad, J.-Y., 2014. L'innovation en élevage : de nouvelles démarche pour de nouveaux enjeux. INRA Productions animales 77–88.

Meynard, J.-M., Girardin, P., 1991. Produire autrement. Courrier de la Cellule Environnement INRA 15, 1–19.

Meynard, J.-M., Jeuffroy, M.-H., 2021. Agroécologie et Innovation, in: La transition agroécologique. Quelles perspectives en France et ailleurs dans le monde ?, Académie d'agriculture France.

Mischler, P., Hocdé, H., Triomphe, B., Omon, B., 2008. Conception de systèmes de culture et de production avec des agriculteurs : partager les connaissances et les compétences pour innover, in: Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri éd.

Mischler, P., Lheureux, S., Dumoulin, F., Menu, P., Sene, O., Hopquin, J.-P., Cariolle, M., Reau, R., Munier-Jolain, N., Faloya, V., Boizard, H., Meynard, J.-M., 2009. Huit fermes de grande culture engagées en production intégrée réduisent les pesticides sans baisse de marge. Le Courrier de l'environnement de l'INRA 57, 73–91.

Monteith, J.L., 1972. Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. Journal of Applied Ecology 9, 747–766. https://doi.org/10.2307/2401901

Morgan, S.L., 2011. Social Learning among Organic Farmers and the Application of the Communities of Practice Framework. The Journal of Agricultural Education and Extension 17, 99–112. https://doi.org/10.1080/1389224X.2011.536362

Moronval, J.-R., Benoit, M., 2018. Chapitre 4. Identifier les systèmes de culture, in: Le Système de Culture. Concept d'agronome, Objet Opérationnel de Décideur. pp. 83–97.

Nonaka, I., Takeuchi, H., 1995. The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press.

Paravano, L., Prost, L., Reau, R., 2016. Brienon-sur-Armançon : pilotage dynamique des actions d'un terri- toire à enjeu nitrate, à l'aide d'un observatoire et d'un tableau de bord. Agriculture, Environnement & Sociétés 6, 127–133.

Pelzer, E., Bonifazi, M., Soulié, M., Guichard, L., Quinio, M., Ballot, R., Jeuffroy, M.-H., 2020. Participatory design of agronomic scenarios for the reintroduction of legumes into a French territory. Agricultural Systems 184, 102893. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102893

Pelzer, E., Bourlet, C., Carlsson, G., Lopez-Bellido, R.J., Jensen, E.S., Jeuffroy, M.-H., 2017. Design, assessment and feasibility of legume-based cropping systems in three European regions. Crop Pasture Sci. 68, 902–914. https://doi.org/10.1071/CP17064

Perez, D.C., 2018. Gérer le patrimoine de création Dom Pérignon : Modéliser et organiser la transmission de connaissances pour la générativité (phdthesis). Université Paris sciences et lettres.

Périnelle, A., Meynard, J.-M., Scopel, E., 2021. Combining on-farm innovation tracking and participatory prototyping trials to develop legume-based cropping systems in West Africa. Agricultural Systems 187, 102978. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102978

Petit, M.-S., Reau, R., Deytieux, V., Schaub, A., Cerf, M., Omon, B., Guillot, M.-N., Olry, P., Vivier, C., Piaud, S., Minette, S., Nolot, J.M., 2012. Systèmes de culture innovants: une nouvelle génération de réseau expérimental et de réseau de compétences. Innovations Agronomiques 25, 99–123.

Plénet, D., Simon, S., 2015. Une démarche de conception et d'évaluation de systèmes de culture pour des vergers plus durables. Sciences Eaux Territoires Numéro 16, 58–63.

Pretty, J.N., 1995. Participatory learning for sustainable agriculture. World Development 23, 1247–1263. https://doi.org/10.1016/0305-750X(95)00046-F

Prost, Cerf, Jeuffroy, 2012. Lack of consideration for end-users during the design of agronomic models. A review. Agronomy for Sustainable Development 32, 581–594. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0059-4

Prost, L., Berthet, E.T.A., Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Labatut, J., Meynard, J.-M., 2017. Innovative design for agriculture in the move towards sustainability: scientific challenges. Research in Engineering Design 28, 119–129. https://doi.org/10.1007/s00163-016-0233-4

Prost, L., Reau, R., Paravano, L., Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., 2018. Designing agricultural systems from invention to implementation: the contribution of agronomy. Lessons from a case study. Agricultural Systems 164, 122–132. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.009

Prost, M., Prost, L., Cerf, M., 2017. Les échanges virtuels entre agriculteurs : un soutien à leurs transitions professionnelles ? Raisons éducatives 129–154. https://doi.org/10.3917/raised.021.0129

Ravier, C., 2017. Conception innovante d'une méthode de fertilisation azotée : Articulation entre diagnostic des usages, ateliers participatifs et modélisation (These de doctorat). Université Paris-Saclay (ComUE).

Ravier, C., Jeuffroy, M.-H., Gate, P., Cohan, J.-P., Meynard, J.-M., 2018. Combining user involvement with innovative design to develop a radical new method for managing N fertilization. Nutrient Cycling in Agroecosystems 110, 117–134. https://doi.org/10.1007/s10705-017-9891-5

Reau, R., Bedu, M., Ferrané, C., Gratecap, J.-B., Paravano, L., Parnaudeau, V., Prost, L., 2017. Evaluation des émissions de nitrate par les champs pour la conception de projets de territoire et l'accompagnement de la transition en AAC. Innovations Agronomiques 57.

Reau, R., Cros, C., Leprun, B., Merot, E., Omon, B., Paravano, L., 2016. La construction des schémas décisionnels et leur mobilisation dans le changement des systèmes de culture. Agriculture, Environnement & Sociétés 6.

Reau, R., Fortino, G., Bintein, Y., Boisset, K., Conteau, C., Coulon, T., Dehlinger, F., Faloya, V., Petit, M.-S., Plénet, D., Lusson, J.-M., Verjux, N., Veschambre, D., Cellier, V., Boll, R., Chanet, J.-P., Boulet, A., Cerf, M., Jeannequin, B., Weissenberger, A., 2009. ECOPHYTO R&D : Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires. Volet 2 TOME IX : Conception d'un réseau d'acquisition de références et d'un réseau d'information (Contract). auto-saisine.

Reau, R., Monnot, L.A., Schaub, A., Munier-Jolain, N., Pampou, I., Bocktaller, C., Cariolle, M., Chabert, A., Dumans, P., 2012. Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. Innovations Agronomiques 20, 5–33.

Reboud, X., Blanck, M., Aubertot, J.-N., Jeuffroy, M.-H., Munier-Jolain, N., Thiollet-Scholtus, M., 2017. Usages et alternatives au glyphosate dans l'agriculture française.

Safin, S., 2011. Processus d'externalisation graphique dans les activités cognitives complexes : le cas de l'esquisse numérique en conception architecturale individuelle et collective. Université de Liège, Liège, Belgique.

Safin, S., Juchmes, R., Leclercq, P., 2012. Use of graphical modality in a collaborative design distant setting. Work 41, 3484–3493. https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0628-3484

Salembier, C., 2019. Stimuler la conception distribuée de systèmes agroécologiques par l'étude de pratiques innovantes d'agriculteurs (phdthesis). Université Paris Saclay (COmUE).

Salembier, C., Elverdin, J.H., Meynard, J.-M., 2016. Tracking on-farm innovations to unearth alternatives to the dominant soybean-based system in the Argentinean Pampa. Agronomy for Sustainable Development 36. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0343-9

Salembier, C., Meynard, J.-M., 2013. Evaluation de systèmes de culture innovants conçus par des agriculteurs: un exemple dans la Pampa Argentine. Innovations Agronomiques 31, 27–44.

Salembier, C., Segrestin, B., Berthet, E., Weil, B., Meynard, J.-M., 2018. Genealogy of design reasoning in agronomy: Lessons for supporting the design of agricultural systems. Agricultural Systems 164, 277–290. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.05.005

Salembier, C., Segrestin, B., Sinoir, N., Templier, J., Weil, B., Meynard, J.-M., 2020. Design of equipment for agroecology: Coupled innovation processes led by farmer-designers. Agricultural Systems 183, 102856. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102856

Salembier, C., Segrestin, B., Weil, B., Jeuffroy, M.-H., Cadoux, S., Cros, C., Favrelière, E., Fontaine, L., Gimaret, M., Noilhan, C., Petit, A., Petit, M.-S., Porhiel, J.-Y., Sicard, H., Reau, R., Ronceux, A., Meynard, J.-M., 2021. A theoretical framework for tracking farmers' innovations to support farming system design. Agron. Sustain. Dev. 41, 61. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00713-z

Schön, D.A., 1992. Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. Knowledge-Based Systems, Artificial Intelligence in Design Conference 1991 Special Issue 5, 3–14. https://doi.org/10.1016/0950-7051(92)90020-G

Schön, D.A., Wiggins, G., 1992. Kinds of Seeing in Designing. Creativity and Innovation Management 1, 68–74. https://doi.org/10.1111/j.1467-8691.1992.tb00031.x

Scopel, E., Triomphe, B., Affholder, F., Da Silva, F.A.M., Corbeels, M., Xavier, J.H.V., Lahmar, R., Recous, S., Bernoux, M., Blanchart, E., de Carvalho Mendes, I., De Tourdonnet, S., 2013. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. Agron. Sustain. Dev. 33, 113–130. https://doi.org/10.1007/s13593-012-0106-9

Sebillotte, M., 1990. Systeme de culture, un concept opératoire pour les agronomes, in: Les Systèmes de Culture. pp. 165–196.

Sebillotte, M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. Cah. OSTROM 3–25.

Shum, S.B., Hammond, N., 1994. Argumentation-based design rationale: what use at what cost? International Journal of Human-Computer Studies 40, 603–652. https://doi.org/10.1006/ijhc.1994.1029

Simon, H.A., 1973. The structure of ill-structured problems. Artificial Intelligence 21.

Slimi, C., Prost, M., Cerf, M., Prost, L., 2021. Exchanges among farmers' collectives in support of sustainable agriculture: From review to reconceptualization. Journal of Rural Studies 83, 268–278. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.01.019

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, Thematic Issue - Modelling with Stakeholders 25, 1359–1370.

https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.03.002

Soulignac, V., 2012. Système informatique de capitalisation de connaissances et d'innovation pour la conception et le pilotage de systèmes de culture durables. Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.

Soulignac, V., Pinet, F., Lambert, E., Guichard, L., Trouche, L., Aubin, S., 2017. GECO, the French Web-based application for knowledge management in agroecology. Computers and Electronics in Agriculture. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.10.028

Stuiver, M., Leeuwis, C., Van der Ploeg, J.D., 2003. The Power of Experience:Farmers' Knowledge and Sustainable Innovations in Agriculture, in: Seeds of Transition : Essays on Novelty Production, Niches Ans Regimes in Agriculture. pp. 93–118.

Therond, O., Duru, M., Roger-Estrade, J., Richard, G., 2017. A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. Agronomy for Sustainable Development 37. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0429-7

Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., Wery, J., 2008. SIMBA, a model for designing sustainable banana-based cropping systems. Agricultural Systems 97, 139–150. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.02.003

Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Borg, J., Enjalbert, J., Gauffreteau, A., Goldringer, I., Lefèvre, A., Loyce, C., Martin, P., Salembier, C., Souchère, V., Valantin-Morison, M., van Frank, G., Prost, L., 2020. Design as a source of renewal in the production of scientific knowledge in crop science. Agricultural Systems 185, 102939. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102939

Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Mischler, P., Pernel, J., Prost, L., 2017. Farmers' use of fundamental knowledge to re-design their cropping systems: situated contextualisation processes. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences 80, 37–47. https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.11.004

Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., 2016a. L'activité de re-conception d'un sys- tème de culture par l'agriculteur : implications pour la production de connaissances en agronomie. Agronomie, Environnement & Sociétés 6, 193–201.

Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., 2016b. Indicators used by farmers to design agricultural systems: a survey. Agronomy for Sustainable Development 36. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0340-z

Tribouillois, H., Fort, F., Cruz, P., Charles, R., Flores, O., Garnier, E., Justes, E., 2015. A Functional Characterisation of a Wide Range of Cover Crop Species: Growth and Nitrogen Acquisition Rates, Leaf Traits and Ecological Strategies. PLOS ONE 10, e0122156. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122156

Trouche, L., Aubin, S., Soulignac, V., Guichard, L., 2016. Construction d'un modèle sémantique pour organiser les connaissances dédiées à l'agroécologie. Le cas d'AgroPEPS/GECO. Agriculture, Environnement & Sociétés 6.

Ulrich, K., 1995. The role of product architecture in the manufacturing firm. Research Policy

24, 419–440. https://doi.org/10.1016/0048-7333(94)00775-3

van Frank, G., Goldringer, I., Rivière, P., David, O., 2019. Influence of experimental design on decentralized, on-farm evaluation of populations: a simulation study. Euphytica 215, 126. https://doi.org/10.1007/s10681-019-2447-9

Vasconcelos, L.A., Crilly, N., 2016. Inspiration and fixation: Questions, methods, findings, and challenges. Design Studies 42, 1–32. https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.11.001

Vedel, G., 2008. Développement agricole : la fin du modèle à la française ? Pour 196–197, 199–207. https://doi.org/10.3917/pour.196.0199

Vereijken, P., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. European Journal of Agronomy 16.

Verret, V., Pelzer, E., Bedoussac, L., Jeuffroy, M.-H., 2020. Tracking on-farm innovative practices to support crop mixture design: The case of annual mixtures including a legume crop. European Journal of Agronomy 115, 126018. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126018

Visser, W., 2009a. La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations. Le travail humain 72, 61–78. https://doi.org/10.3917/th.721.0061

Visser, W., 2009b. Design: one, but in different forms. Design Studies 30, 187–223. https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.11.004

Visser, W., 2007. L'analyse de l'expertise du point de vue de l'ergonomie cognitive. arXiv preprint arXiv:0710.4999.

Visser, W., 2006. Designing as construction of representations: A dynamic viewpoint in cognitive design research. Human–Computer Interaction 21, 103–152.

Visser, W., 2002. Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive [Individual and collective design. The cognitive-ergonomics approach], in: Cognition et Création. Exploration Cognitive Des Processus de Conception. pp. 311–327.

Visser, W., 1990a. More or less following a plan during design: opportunistic deviations in specification. International Journal of Man-Machine Studies 33, 247–278. https://doi.org/10.1016/S0020-7373(05)80119-1

Visser, W., 1990b. Acquisition de connaissances: L'approche de la psychologie cognitive illustrée par le recueil d'expertise en conception 20.

Visser, W., Darses, F., Détienne, F., 2004. Chapitre 5. Approches théoriques pour une ergonomie cognitive de la conception, in: Psychologie ergonomique : tendances actuelles, Le Travail humain. Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, pp. 97–118. https://doi.org/10.3917/puf.hocj.2004.01.0097

Ward, T.B., 1994. Structured Imagination: the Role of Category Structure in Exemplar Generation. Cognitive Psychology 27, 1–40. https://doi.org/10.1006/cogp.1994.1010

Warner, K., 2008. Agroecology as Participatory Science: Emerging Alternatives to

Technology Transfer Extension Practice. Science Technology & Human Values - SCI TECHNOL HUM VAL 33, 754–777. https://doi.org/10.1177/0162243907309851

Wenger, E., 2000. Communities of practices and social learning systems. Organization 7, 225–246.

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, 503–515. https://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, 1–20. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0180-7

Wezel, A., Herren, B.G., Kerr, R.B., Barrios, E., Gonçalves, A.L.R., Sinclair, F., 2020. Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. Agron. Sustain. Dev. 40, 40. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z

Annexes

Annexe 1 :

Article publié dans l'hebdomadaire « L'agriculteur Normand » sur l'atelier réalisé le 10 Janvier 2020 à Lolif (coll. Chambre d'Agriculture Régionale de Normandie)

TECH' végétal

GIEE |

Réfléchir collectivement à l'évolution de son système de cultures

Les GIEE co-construisent au quotidien des systèmes de cultures. Le but : changer les habitudes de travail et avancer ensemble pour plus de performances. Témoignages.

Caroline Tostain, conseillère en agriculture biologique à la Chambre d'agriculture de la Manche, anime un échange entre professionnels, vendredi 10 janvier 2020. DR

Le plateau du jeu Mission Ecophyt'eau, conçu par le réseau des Civam, sert de support à l'animation et fait évaluer le système de cultures des agriculteurs présents. DR

Mettre en place un système capable de répondre à de nouveaux et multiples enjeux (économiques, sociaux et environnementaux) est un défi majeur quotidien, posé aux agriculteurs. Les Groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE) y travaillent au jour le jour, avec la participation financière du Casdar.

Pour ce faire, ils ont mis en place la co-construction des systèmes de culture ; soit la co-construction de la vision globale d'une rotation culturale et des itinéraires type pratiqués sur les cultures de cette rotation, sur une exploitation agricole. Repenser un tel système en GIEE représente un moment de réflexion collective, dédié à aider et accompagner les agriculteurs.

Comment changer un système de cultures ?

Un groupe constitué d'agriculteurs, de techniciens, de chercheurs, voire d'autres acteurs qui jouent un rôle dans le contexte de production, est réuni. Changer ses pratiques et les faire évoluer nécessite de remettre à plat le système de cultures pratiqué jusqu'alors. Analyser les points forts et les points faibles, identifier les objectifs et les indicateurs d'évaluation, sont autant d'études indispensables pour conduire la démarche.

Les échanges entre les différents participants, avec l'appui des conseillers, sur diverses thématiques telles que la prévention pour l'érosion du sol ou le lait bio bas carbone, permettent de faire ressortir des propositions adaptées au regard de la succession des cultures, du travail du sol, de la gestion des adventices, des effluents, etc.

Riche en solutions

Philippe Lecompagnon, agriculteur dans la Manche, est le gérant de l'EARL Lecompagnon. Cette exploitation laitière, avec un atelier viande en techniques culturales sans labour depuis 2015, souhaitait particulièrement s'adapter aux épisodes de sécheresse estivale et au possible arrêt du glyphosate. *« En lien avec le GIEE Mon sol j'en prends soin pour éviter l'érosion, j'ai progressivement abandonné le labour. D'abord avec les outils disponibles sur l'exploitation, ensuite en utilisant le strip-till pour le maïs et enfin en investissant en Cuma dans un semoir de semis direct pour les couverts et le blé »*, explique-t-il.

Pour répondre à ces objectifs, à force d'échanges en GIEE, Philippe Lecompagnon a ainsi introduit la luzerne dans la rotation, afin de produire un fourrage riche en protéines et donc plus adapté aux conditions sèches. Il a également eu recours à un couvert d'intercultures entre la prairie et le maïs, en choisissant des espèces sensibles au roulage. *« Plus il y a de propositions, plus c'est riche pour moi en termes de solutions et de voies pour y parvenir. Avec du recul, je me rends compte qu'au début, nous n'allions pas assez loin dans les propositions d'évolution. Plus j'avance, plus j'ai envie de continuer et d'aller vite »*, concède Philippe Lecompagnon.

Mettre le système à plat pour trouver des alternatives

Stéphane et Romaine Colin sont les gérants du Gaec de la Tisière (50), exploitation laitière en agriculture biologique. *« Nous avions fondamentalement envie d'être plus autonomes en fourrages, de moins craindre les aléas climatiques et aussi de réduire le travail du sol. Mais nous ne prenions pas le temps, nous n'avions pas le recul nécessaire pour revoir le système dans son ensemble »*, reconnaît Stéphane Colin.

Il ajoute : *« en voyant notre système mis à plat, avec la succession culturale et les interventions, nous avons pris conscience du nombre important de passages d'outils et de la nécessité de trouver des alternatives. »* Dans un secteur très séchant, le GIEE leur a donc permis de revoir ce fonctionnement en allongeant la durée de vie des prairies, en introduisant le méteil entre la prairie et le maïs ou en ressemant les prairies sous couvert d'orge d'hiver ou d'avoine de printemps, par exemple. Un travail de longue haleine qui se poursuivra au-delà des échanges de groupes. ■

Projets conduits avec l'appui de Maude Quinio et Paola Salazar INRAE Paris Grignon

MARIE-CHRISTINE FORT–LEGRAND
GABRIELE FORTINO
CAROLINE TOSTAIN

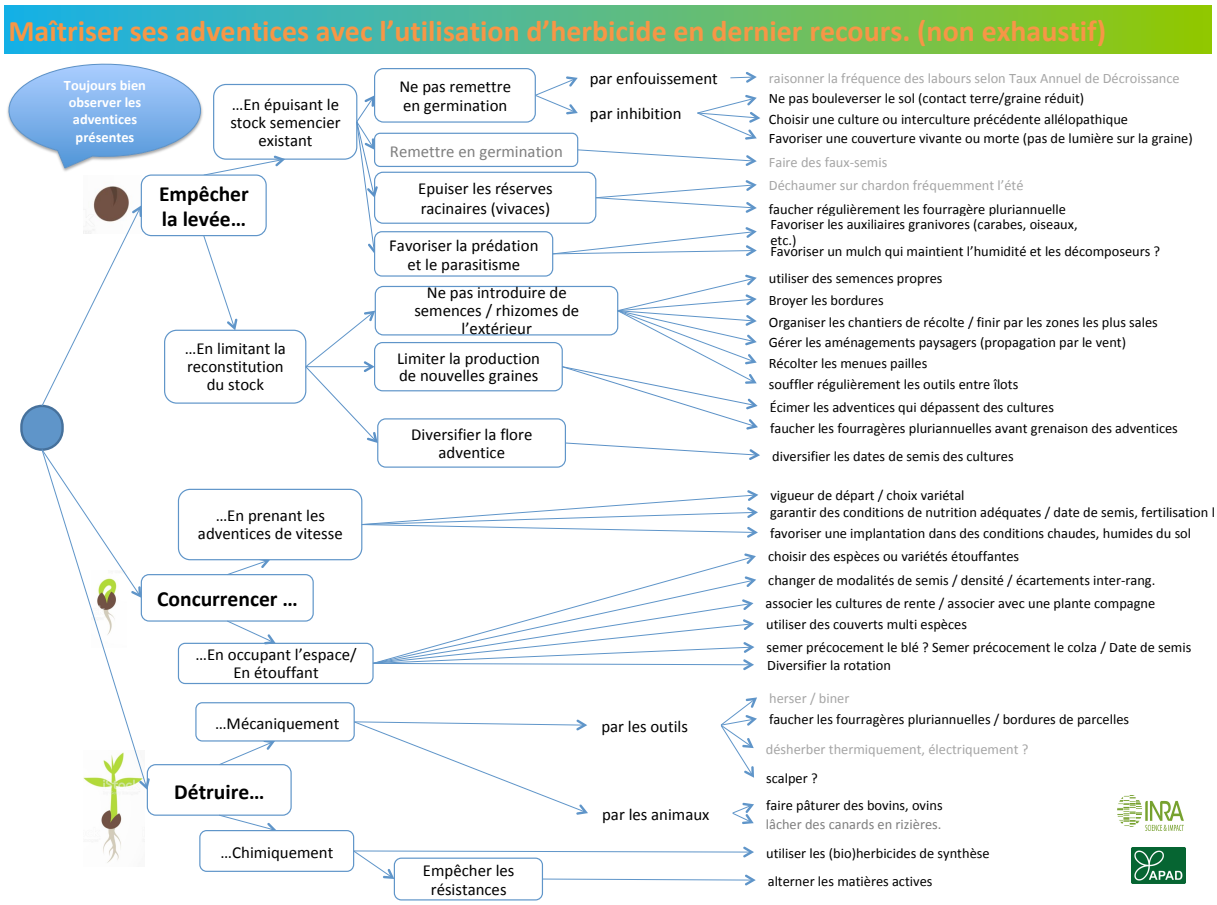
aGRICULTURES & TERRITOIRES CHAMBRES D'AGRICULTURE NORMANDIE

Marie-Christine Fort – Legrand est manager de projets ; référente méthode Territoire et Groupe - Unité évolution des pratiques – DIRD
Gabriele Fortino est conseiller en agronomie - productions végétales ; référent thématique Systèmes - Unité évolution des pratiques – DIRD
Caroline Tostain est conseillère en agriculture biologique

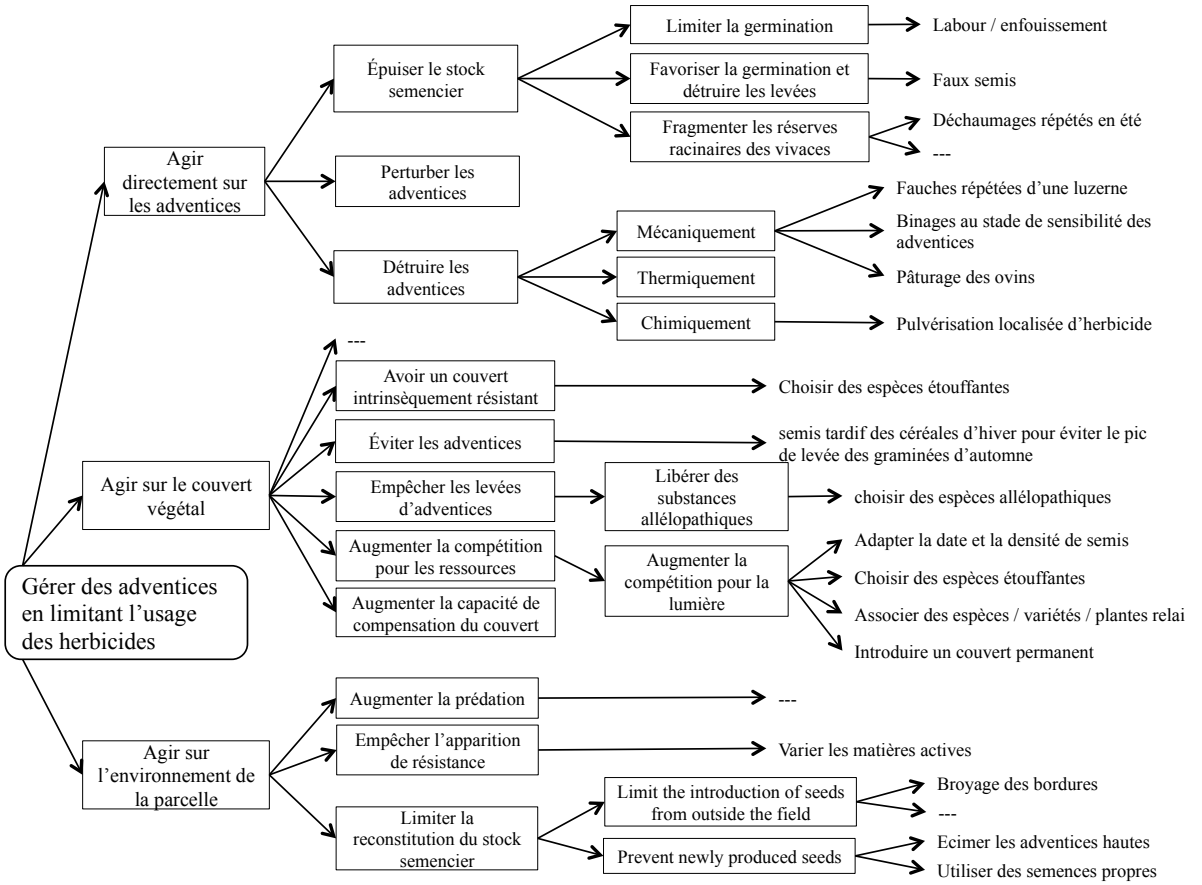
Philippe Lecompagnon, gérant de l'EARL Lecompagnon dans la Manche. Cette exploitation laitière, avec un atelier viande en techniques culturales sans labour depuis 2015. MOUSSARD

Cerf
Annexes 2 :

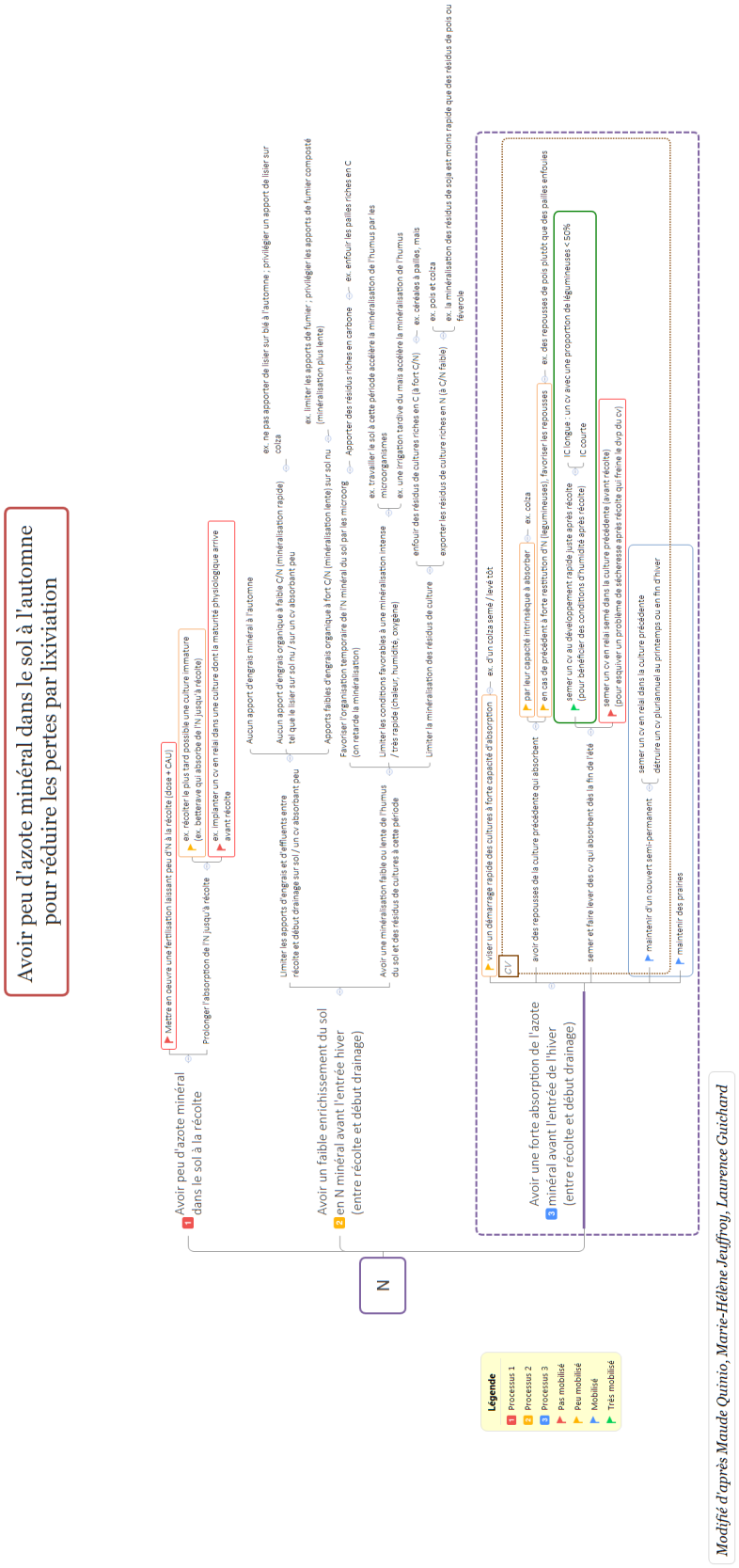
a) **Arbre pour « Maîtriser les adventices avec l'utilisation d'herbicide en dernier recours » présenté lors de la journée technique de l'APAD le 23 Mai 2019 (Coll. APAD, Trame)**



b) Arbre pour « gérer les adventices en limitant l'usage des herbicides »



c) <u>Arbre pour « limiter les pertes en azote durant l'automne » (coll. Chambre d'Agriculture des Andelys)</u>



Modifié d'après Maude Quinio, Marie-Hélène Jeuffroy, Laurence Guichard

Annexes 3 :

a) **Liste des Tableau Bioagresseurs réalisés dans le cadre du projet FORCOCO (Janvier 2021, coll. Paola SALAZAR)**

b) **Tableau Bioagresseur sur le méligèthe du colza**

d) **Tableau Bioagresseur sur le chardon des champs**

NB : BA (bioagresseur), SdC (système de culture), R (recherche), R&D (recherche et développement)

Nom du BA	Type de BA	Culture ou SdC concerné	Organismes de R et R&D sollicités	État d'avancement (stades)
Méligèthe du colza	Ravageur	Colza	INRAE Grignon (chercheur) AgroParisTech (enseignant)	Rédigée, validée, mise en forme (stade 3)
Carpocapse des pommes et des poires	Ravageur	Pommier	INRAE Gotheron (ingénieur-expérimentateur)	Rédigée, validée, mise en forme (stade 3)
Mouche du chou	Ravageur	Brassicacées	CRA Bretagne (conseiller)	Rédigée, validée, mise en forme (stade 3)
Nématode à galles	Ravageur	Cultures légumières	INRAE Avignon (chercheurs)	Rédigée, validée, mise en forme (stade 3)
Taupin	Ravageur	Cultures légumières	AgroTransfert Ressources et Territoires (ingénieur)	Rédigée, validée, mise en forme (stade 3)
Bruche de la lentille	Ravageur	Lentille	INRAE Grignon (ingénieur)	En cours de rédaction (stade 1)
Sclerotinia	Maladie	Cultures légumières	AgroTransfert Ressources et Territoires (ingénieur)	Rédigée, validée, mise en forme (stade 3)
Oïdium de la vigne	Maladie	Vigne	IFV (ingénieur et expérimentateur)	En cours de rédaction (stade 1)
Chardon	Adventice	Grandes cultures	AgroTransfert – Ressources et territoires (ingénieur)	Rédigée et en cours de validation (stade 2)
Laiteron	Adventice	Grandes cultures	AgroTransfert – Ressources et territoires (ingénieur)	Rédigée et en cours de validation (stade 2)
Ray-grass	Adventice	Grandes cultures	INRAE Dijon (chercheur et expérimentateur)	Rédigée, validée, mise en forme (stade 3)

« Cette fiche est évolutive et bénéficie des apports de chacun : si vous avez des compléments à proposer, n'hésitez pas à nous contacter »

Fiche méligèthe du colza : techniques mobilisables et processus (biologiques et écologiques) impactés pour maîtriser les populations du bioagresseur en fonction de son cycle de vie

Nom du bioagresseur : Méligèthe du colza (*Meligethes aeneus*) / **Type de bioagresseur** : Ravageur / **Stade nuisible** : Adulte / **Générations/an** : 1
Durée du cycle : le cycle de développement des méligèthes dure de 40 à 50 jours selon la température (de l'émergence des adultes à la fin de la nymphose)
Cultures concernées : colza
Stade sensible de la culture : boutons floraux (boutons accolés D1 à boutons séparés E)
Organes attaqués : boutons floraux
Symptômes : les boutons floraux jaunissent, puis flétrissent et finissent par tomber. Seul leur pédoncule reste sur la plante. Les plantes présentent des inflorescences et des siliques (fruits) irrégulières. Confusion possible avec le flétrissement physiologique des bourgeons, qui apparaît surtout en cas de mauvais temps ou avec les dégâts du gel.
Dégâts : les adultes perforent les boutons floraux pour se nourrir du pollen provoquant l'avortement des fleurs et ainsi la perte des siliques. Toutefois, le colza a une bonne capacité de compensation aux attaques de méligèthe. Ainsi, plus la culture est vigoureuse et saine, plus elle peut supporter la présence de méligèthes, même abondantes, en produisant de nouvelles inflorescences.
Nuisibilité : faible à moyenne, sauf si les populations d'adultes sont très importantes pendant la période sensible de la culture. Pendant la floraison les méligèthes ne sont plus nuisibles car le pollen est accessible. La nuisibilité devient généralement nulle et le traitement inutile. La ponte et les larves n'engendrent pas de dégâts.
Ennemis naturels : Parasitoïdes larvaires (*Tersilochus heterocerus*, *Phradis spp.*) ; Champignons (*Beauveria bassiana*, *Métarhizium anisopliae*) ; Prédateurs généralistes (carabes, staphylins, araignées)

Phases du cycle de vie Description synthétique des traits fonctionnels et/ou éléments clefs nécessaires au développement du bioagresseur (lieu et forme de conservation, besoins de T°, H°, type d'habitat…) J F M A M J J A S O N D	**Illustrations** Photos, images ou figures illustrant chaque stade du cycle du bioagresseur et des symptômes et/ou dégâts sur la plante hôte	**Fonctions visées** Processus (biologiques et écologiques) sur lesquels on peut agir pour limiter ou empêcher le développement du bioagresseur, selon la période du cycle	**Techniques / combinaison de techniques** Techniques validées ou hypothétiques, seules ou combinées, permettant d'agir sur la fonction visée indiquée sur la même période du cycle biologique du bioagresseur
Phases émergence des adultes (1ère génération), accouplement et ponte / Stade adulte 1er vol vers les sites d'alimentation et reproduction (champs de colza) : les adultes quittent leur lieu d'hivernation (sol ou litière de zones boisées ou enherbées) dès la fin mars (T° du sol environ 10°C). Au début, vols de courte distance (< à 1Km) pour se nourrir du pollen de fleurs environnantes (pissenlit, églantier, navette…). Quand la T° de l'air atteint 15°C, ils se déplacent massivement et parcourent de grandes distances (1 à 3 Km/j et jusqu'à 12 Km en 2j) vers les champs de colza. Ils localisent la culture par la vision (la couleur jaune des plantes aux stades plus avancés) et l'odorat (émission des Composés Organiques Volatiles). Dégâts (stade D1 à E du colza) : les dates varient selon les années mais les dégâts ont lieu généralement au mois d'avril. Ceux-ci sont provoqués par les morsures des adultes qui perforent les boutons floraux pour se nourrir du pollen. Ceci, engendre l'avortement des boutons et ainsi la perte de fruits (siliques). Leurs attaques touchent d'abord les bords des parcelles, puis ils migrent vers le centre. Accouplement et ponte : une fois arrivés sur le colza, les méligèthes s'accouplent et les femelles pondent leurs œufs à la base de boutons floraux. L'oviposition n'engendre pas de dégâts à la culture. Une femelle peut déposer au total 250 à 400 œufs.	 Adulte perforant un bouton floral de colza pour se nourrir du pollen © ephytia Accouplement des méligèthes sur colza © S. Dourlot Trous de ponte d'œufs à la base de boutons floraux de colza © FiBL	**Surveiller la dynamique de la population** *L'objectif est de maintenir la population à un niveau tolérable et non de l'éradiquer	Visiter les parcelles pour **évaluer l'état de la culture et le niveau de présence du ravageur** Installer de **cuvettes jaunes sur la parcelle pour piéger les adultes** (indicateur de présence du ravageur) Effectuer des **comptages de méligèthes sur les plantes** pour déterminer un seuil de tolérance en fonction du stade de la culture Suivre les prévisions de vols (suivi du BSV)
		Dévier le ravageur de sa culture hôte par perturbation olfactive et/ou visuelle	Pratiquer la **stratégie Push-Pull** : Installer une espèce ou variété attirante en bordure de parcelle (ex. navette) et à l'intérieur une espèce ou des diffuseurs avec des composés organiques volatiles (COV) répulsifs (ex. lavande) pour perturber les méligèthes Installer une **culture piège**, plus attractive que la culture principale, **en bordure de parcelle** (ex. navette, moutarde) pour distraire les méligèthes pendant la période sensible du colza Mélanger la variété d'intérêt à une **variété de colza haute et à floraison très précoce** (ex. 5-10% ES Alicia) pour attirer et concentrer le ravageur sur un nombre restreint de plantes et ainsi diminuer les dégâts (**effet dilution**) sur le reste de la culture
		Diminuer l'attractivité et/ou sensibilité de la culture hôte par le contrôle génétique	Choisir des **variétés moins appétantes pour les méligèthes** (ex. faible teneur en saccharose) Choisir des **variétés avec boutons floraux plus épais** et durs (difficiles à pénétrer par l'ovipositeur) Semer des **variétés de colza à floraison très précoce** (ES Alicia)
		Détruire le ravageur par lutte biologique	Faire des pulvérisations au printemps avec des **huiles végétales** (colza, tournesol) Faire des pulvérisations ou saupoudrages au printemps avec des **poudres de roches** Utiliser de produits de **Biocontrôle** à base de **champignons** entomopathogènes (*Beauveria bassiana*)
		Favoriser la capacité de compensation de la culture	**Créer de bonnes conditions de croissance** pour avoir une implantation rapide, une floraison précoce et une culture vigoureuse capable d'émettre de nouveaux boutons floraux et de ramifications secondaires en cas d'attaque : - **Éviter les terrains compactés et avec eau stagnante** - Garantir une **fertilisation azotée adaptée**
J F M A M J J A S O N D	**Illustrations**	**Fonctions visées**	**Techniques / combinaison de techniques**
Phases éclosion et développement larvaire / Stades œuf et larve Les œufs éclosent 4-6 jours après la ponte (selon la température) à l'intérieur des boutons floraux. Les larves se développent et se nourrissent du pollen des fleurs de colza pendant 3 voire 4 semaines (selon température) sans causer de dégâts sur la culture (sauf si forte infestation). Les larves peuvent se déplacer sur une même plante d'un bouton floral à un autre.	 Œufs de méligèthes à l'intérieur du bouton floral de colza © FiBL Larves de méligèthes dans une fleur de colza © FiBL	**Favoriser le parasitisme et/ou la prédation de larves**	Mettre en place de bandes fleuries avec des plantes fournissant du nectar en avril (vesce, moutarde, barbarée, véronique, capselle, lamier, marguerite) pour fournir des ressources alimentaires aux parasitoïdes de larves de méligèthes (*T. heterocerus*, *Phradis spp.*). Stratégie préventive car elle aide à limiter les populations de l'année suivante. Besoin d'un aménagement spatial (maillage) suffisamment fin pour permettre le déplacement des auxiliaires sur le territoire et la colonisation des parcelles agricoles.
			Aménager des habitats (ex. bandes fleuries pérennes) et adopter des pratiques favorisant la présence des prédateurs généralistes (carabes, staphylins et araignées), prédateurs de larves qui tombent dans le sol pour se nymphoser en mai.
			Limiter les traitements insecticides qui peuvent tuer par contact s'ils sont appliqués directement sur les insectes auxiliaires ou par ingestion s'il y a consommation d'aliments contaminés (pollen, nectar, miellat). Les parasitoïdes sont particulièrement sensibles aux insecticides.

Projet ForCoCo (2018-2020) – Financement OFB dans le cadre du Plan Ecophyto II – Pilotage et animation réalisés par l'INRAE, UMR Agronomie (Grignon)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Illustrations	Fonctions visées	Techniques / combinaison de techniques
Phases nymphose et émergence des nouveaux adultes (2ème génération) / Stades nymphe et adultes Nymphose : vers mi ou fin mai (fin de la floraison) les larves bien développées se laissent tomber au sol de la parcelle pour nymphoser pendant quelques semaines (entre 14 à 18 jours) à 2-3 cm de profondeur. Puis la génération suivante de méligèthes éclot. 2e vol vers les sites d'hivernation : vers mi-juin, avant la récolte du colza, la nouvelle génération de méligèthes quitte le sol de la parcelle pour aller se nourrir du pollen d'autres plantes (crucifères adventices, rosacées, composées) jusqu'à mi-juillet avant de rejoindre leurs abris pour hiverner. Le nombre d'insectes est plus important que pour la génération du printemps (mortalité pendant l'hiver).												 Nymphe de méligèthe © Nymphes de méligèthes parasitées ©	**Favoriser le parasitisme et/ou la prédation de nymphes**	Aménager des habitats (ex : bandes fleuries pérennes) près des parcelles du colza ou en bord de champs pour favoriser la présence des auxiliaires généralistes (carabes, staphylins et araignées), prédateurs de nymphes dans le sol. Limiter le travail du sol après la récolte du colza, étant donné que les hyménoptères parasitoïdes se nymphosent dans les premiers centimètres du sol.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Illustrations	Fonctions visées	Techniques / combinaison de techniques
Phase hivernation / Stade adulte Diapause estivo-automno-hivernale : dès l'été à la fin de l'hiver les méligèthes estivent et hivernent sous forme d'adulte dans le sol ou dans la litière de feuilles de zones boisées ou enherbées ou le long des haies, entre 2 à 5 cm de profondeur. Ils restent inactifs pendant cette période, en attendant le printemps suivant pour émerger et démarrer un nouveau cycle.													**Favoriser le parasitisme et/ou la prédation des adultes en hivernation**	Installer / Entretenir des nichoirs et points d'eau dans les lieux d'hivernation pour favoriser la présence des oiseaux prédateurs. Préserver des espaces semi-naturels (haies, bosquets) et limiter le travail du sol car des populations de champignons auxiliaires présents de manière naturelle dans les sols (ex. *Beauveria bassiana, Métarhizium anisoplia)* infectent les méligèthes pendant l'hiver et participent à la diminution des populations d'adultes émergeants au printemps.

A l'échelle de la rotation et du paysage	Illustrations	Fonctions visées	Techniques / combinaison de techniques
Les méligèthes adultes ont une capacité de dispersion importante. Ils parcourent de grandes distances (1 à 3 km/jour) quand la T° de l'air atteint 15°C. Au début de l'été, les adultes se nourrissent du pollen des fleurs de différentes familles botaniques avant de rejoindre leurs lieux d'estivation et d'hivernation. Cependant, les méligèthes ont besoin de leur culture hôte préférée (le colza) pour accomplir leur cycle biologique (ponte et développement larvaire à l'intérieur des boutons floraux).	 © INRAE	**Limiter le maintien et la propagation du ravageur**	Éviter de cultiver du colza de printemps dans les régions de production de colza d'hiver. Éviter de cultiver du colza à côté des zones boisées car ces parcelles sont colonisées en premier au moment où la culture est au stade le plus sensible. Augmenter le délai de retour du colza à l'échelle du paysage et non seulement de la parcelle, vu la capacité de dispersion élevée des adultes. Dans les régions fortement impactées, faire une année sans colza dans un territoire. Une année sans boutons floraux de colza signifie une année sans nourriture et sans lieu de ponte pour les méligèthes, donc diminution des populations de méligèthes l'année suivante.

Sources consultées :

- Fiche technique méligèthe du colza. Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL). Suisse. 2014. Accessible en ligne via le lien suivant :
- https://www.fibl.org/fr/boutique/1484-meligethe-du-colza.html
- Fiche le méligèthe du colza. Projet Arena – AuxiMore. Accessible en ligne via le lien suivant : https://arena-auximore.fr/fiches/
- Outil herbea : méligèthe du colza. Accessible en ligne via le lien suivant : https://www.herbea.org/fr/fiches/48/M%C3%A9lig%C3%A8the-du-colza
- Site web Terres Inovia : surveillance et lutte contre le méligèthe ; régulation naturelle des ravageurs du colza. Accessible en ligne via le lien suivant : https://www.terresinovia.fr/-/colza-surveillance-et-lutte-contre-le-meligethe-tres-frequent-peu-nuisible https://www.terresinovia.fr/-/la-regulation-naturelle-des-ravageurs-du-colza
- Thèse de doctorat : Analyse des déterminants des attaques de Meligethes aeneus (Coleoptera, Nitidulidae) et de sa régulation biologique à l'échelle d'un paysage agricole : Contribution à l'amélioration de la protection intégrée du colza. AgroParisTech. 184 p., Rusch A., 2010. Accessible en ligne via le lien suivant : http://www.theses.fr/2010AGPT0094
- Thèse de doctorat : Dynamique des populations de méligèthes, Brassicogethes aeneus Fabr. (Coleoptera, Nitidulidae) et de son principal parasitoïde, Tersilochus heterocerus Thomson (Hymenoptera, Ichneumonidae) en fonction de l'hétérogénéité des paysages agricoles. Agronomie. Université Paris Saclay (COmUE). Juhel A., 2017. Accessible en ligne via le lien suivant : http://www.theses.fr/2017SACLA035

Contributeurs / Relecteurs :
Paola Salazar – INRAE, UMR Agronomie (animatrice de projet ForCoCo – email : paola.salazar@inrae.fr)
Maude Quinio – INRAE, UMR Agronomie (doctorante)
Corentin Barbu – INRAE, UMR Agronomie (chercheur)
Antoine Gardarin – AgroParisTech/INRAE, UMR Agronomie (enseignant chercheur)

Date de la dernière mise à jour : Décembre 2020

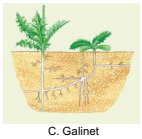
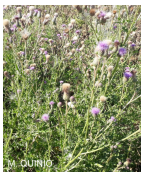
ForCoCo : **For**malisation des **Co**nnaissances pour la **Co**nception de systèmes de culture économes en produits phytosanitaires

« Ces fiches ont été conçues et fabriquées avec la collaboration de divers acteurs de la Recherche, de l'Enseignement et de la R&D agricole qui ont souhaité participer de manière volontaire aux réflexions et aux relectures en vue d'améliorer leur contenu et de partager leurs connaissances pour accompagner la conception de systèmes agroécologiques »

« Cette fiche est évolutive et bénéficie des apports de chacun : si vous avez des compléments à proposer, n'hésitez pas à nous contacter »

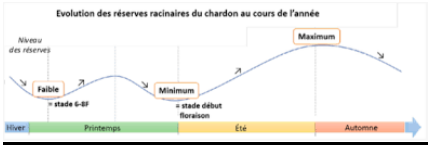
Fiche chardon : techniques mobilisables et processus (biologiques et écologiques) impactés pour maîtriser les populations du bioagresseur en fonction de son cycle de vie

Nom du bioagresseur : chardon (*Cirsium arvense*) / **Type de bioagresseur** : Adventices / **Durée du cycle :** vivace
Cultures concernées : toutes les cultures
Dégâts : perte de rendement et salissement de la récolte
Nuisibilité :
Ennemis naturels :

Phases du cycle de vie Description synthétique des traits fonctionnels et/ou éléments clefs nécessaires au développement du bioagresseur (lieu et forme de conservation, besoins de T°, H°, type d'habitat…) J F M A M J J A S O N D	**Illustrations** Photos, images ou figures illustrant chaque stade du cycle du bioagresseur et du stade sensible de la plante hôte	**Fonctions visées** Processus (biologiques et écologiques) sur lesquels on peut agir pour limiter ou empêcher le développement du bioagresseur, selon la période du cycle	**Techniques / combinaison de techniques** Techniques validées ou hypothétiques, seules ou combinées, permettant d'agir sur la fonction visée indiquée sur la même période du cycle biologique du bioagresseur
Période émergence/ Reprise de végétation - la levée est très étalée dans le temps - au printemps, le chardon utilise ses réserves racinaires pour former des pousses aériennes, appelées des drageons - les bourgeons végétatifs, localisés sur les racines, sortent de dormance pour produire des drageons : jusqu'à 16 drageons par mètre de racine par an	 © ACTA	**Favoriser la compétition entre l'adventice et la culture en place pour la lumière**	- Introduire une culture étouffante • annuelle (ex. chanvre, vieilles variétés de blé) • pluriannuelle (ex. luzerne, sainfoin, prairie temporaire) • une culture intermédiaire - Augmenter la densité de semis des cultures classiques, en sachant qu'elles sont déjà plus élevées en bio qu'en conventionnel
J F M A M J J A S O N D	**Illustrations**	**Fonctions visées**	**Techniques / combinaison de techniques**
Période de développement végétatif <u>Stade de compensation 6/8 feuilles :</u> - à ce stade, au printemps, les réserves racinaires sont faibles - à partir du stade 6-8 feuilles, le chardon devient capable de se développer grâce à la photosynthèse, et reconstitue les réserves racinaires <u>Fragmentation des rhizomes :</u> - lors de la fragmentation d'une racine, les bourgeons sortent de dormance pour produire des drageons : la régénération - cette régénération est possible à partir d'un fragment de racine d'au moins 2 cm <u>Conditions favorables au développement :</u> L'absence de travail du sol favorise le développement des rhizomes *A compléter : pH ? Eau ?*	 C. Galinet	**Epuiser les réserves racinaires** lorsqu'elles sont faibles -> en détruisant les nouvelles pousses	- Faucher une culture pérenne régulièrement - Rouler une prairie ou un couvert d'interculture pour casser les tiges de chardons
		-> en fragmentant les racines	- Effectuer des déchaumages répétés de printemps avant d'implanter une culture de printemps tardive - Effectuer un déchaumage en juin après une culture récoltée tôt (ex. méteil) ou semée tard (ex. avant une culture d'été et de dérobée) - Effectuer des binages (ex. sur des cultures sarclées)
		-> en enfouissant les racines en profondeur	- Réaliser un labour de printemps : plus il est tardif et plus il est efficace car le labour retarde le développement du chardon. Il est plus efficace que le labour d'automne car les réserves racinaires sont faibles
		-> en combinant les deux stratégies	- Combiner un labour de printemps et des déchaumages successifs
		Détruire les adventices chimiquement	
		Extraire les racines	
J F M A M J J A S O N D	**Illustrations**	**Fonctions visées**	**Techniques / combinaison de techniques**
Périodes de floraison et grenaison - reproduction végétative (95%) et sexuée (5%) - le chardon utilise les réserves racinaires pour produire des fleurs, puis des graines - au stade floraison, les réserves du chardon sont au minimum - les graines possèdent des aigrettes plumeuses et peuvent être transportées par le vent, jusqu'à 150 mètres <u>Dégâts :</u> Le chardon concurrence la culture pour la lumière, les éléments minéraux, l 'eau. Il peut rapidement étouffer la culture	 M. DURING	**Détruire les chardons** en parcelle	- Faucher une culture pérenne régulièrement (ex. luzerne) ou une jachère - Écimage en cultures annuelles le permettant - Étêtage manuel en cultures annuelles, si l'écimage n'est pas possible - Arracher manuellement les chardons
		Détruire les chardons en bordure de parcelle	- Faucher les bordures de parcelles (cf. arrêtés préfectoraux) - Même techniques que ci-dessus
		Epuiser les réserves racinaires quand elles sont faibles	- Faucher une culture pérenne régulièrement - Effectuer en juin des déchaumages après une culture récoltée tôt (ex : méteil) ou semée tard (ex : avant une culture d'été et de dérobée)
		Limiter la dissémination des graines par le vent plantes présentes sur mes parcelles ou celles du voisin	

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Illustrations	Fonctions visées	Techniques / combinaison de techniques
Période de reconstitution des réserves - Après la floraison, durant l'été, le chardon reconstitue ces réserves racinaires. Elles atteignent leur maximum au début d'automne													**Epuiser les réserves racinaires** quand elles sont élevées -> en fragmentant les racines	- Effectuer plusieurs déchaumages avec des outils à pattes d'oie ou d'ailettes. Il y a des controverses sur les effets des outils à disques (ex. cover crop) → au moins 3 déchaumages successifs après la récolte des céréales ; à profondeur de travail croissante ou constante → attention, un travail du sol insuffisant peut empirer la situation
													-> enfouir les racines en profondeur	- Réaliser un labour pour enfouir les racines (à ne pas effectuer avant des déchaumages répétés)
													Détruire les chardons	Cf. ci-dessus
													Limiter la contamination par le transport des fragments de racines d'un champ à l'autre	- Nettoyer les outils, pneus et équipements pour enlever les fragments de racines collés
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Illustrations	Fonctions visées	Techniques / combinaison de techniques
Période de repos végétatif / de dormance														
Stratégies de gestion à l'échelle de la rotation et du paysage													Fonctions visées	Techniques / combinaison de techniques
Le chardon se développe par tâches qui peuvent s'élargir d'1 ou 2 mètres par an													Surveiller la propagation des ronds de chardons	

Graphique de l'évolution des réserves racinaires :



Sources consultées :

Favrelière, E., Ronceux, A., Pernel, J., Meynard, J.-M., 2020. Nonchemical control of a perennial weed, Cirsium arvense, in arable cropping systems. A review. Agronomy for Sustainable Development 40. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00635-2

Favrelière, E., Bétencourt, E. 2014, http://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2016/11/Fiche-chardon.pdf

Site internet Infloweb

Contributeurs / Relecteurs :

Elise Favrelière – AgroTransfert, Ressources et Territoires
Maude Quinio – INRAE, UMR Agronomie

Contact :
Paola Salazar – INRAE, UMR Agronomie (animatrice de projet ForCoCo – email : paola.salazar@inrae.fr)

Date de la dernière mise à jour : Janvier 2021

ForCoCo : **For**malisation des **Co**nnaissances pour la **Co**nception de systèmes de culture économes en produits phytosanitaires

« Ces fiches ont été conçues et fabriquées avec la collaboration de divers acteurs de la Recherche, de l'Enseignement et de la R&D agricole qui ont souhaité participer de manière volontaire aux réflexions et aux relectures en vue d'améliorer leur contenu et de partager leurs connaissances pour accompagner la conception de systèmes agroécologiques »

Liste des Figures

Figure 1. Les principes d'OSAÉ 8

Figure 2. Représentation de l'approche système (J-M. Meynard, présentation Académie Agriculture de France, 16 Février 2021). 10

Figure 3. Les étapes de la conception pas-à-pas (Plénet and Simon, 2015) 14

Figure 4. Les acteurs associés à l'agroécologie en Février 2018 (Bellon et Ollivier, 2018) 16

Figure 5. Etapes préconisées pour la réalisation d'un atelier de conception (Reau et al., 2018) 16

Figure 6. Le processus de conception est constitué d'une succession d'étapes de convergence et de divergence 22

Figure 7. Exemple d'un tableau de bord pour soutenir la conception collective dans une aire d'alimentation de captage en Bourgogne (Prost et al., 2018) 30

Figure 8. Exemple d'une carte à idées développée dans le cadre du projet Auto'N (Reau et al., 2016) 33

Figure 9. Exemple d'un schéma décisionnel de maîtrise des adventices expérimenté au lycée agricole de Rouffach en Alsace (Reau et al., 2016) 33

Figure 10. Capture d'écran de la présentation d'une technique « Implanter des bandes herbeuses et florales en bordure des parcelles » - extrait présentant le statut de la technique et son sommaire interactif (Guichard et al., 2015) 36

Figure 11. La structuration du collectif des utilisateurs de GECO (Cahier des Clauses Techniques Particulières, 2015) 36

Figure 12. Les mouvements identifiés dans la théorie C-K 39

Figure 13. Les liens entre connaissances dans une structure « *splitting* » (Brun 2017) 40

Figure 14. L'émergence d'un nouveau concept suite à la réorganisation de l'espace des connaissances (Brun 2017) 40

Figure 15. Plan de thèse et articulation entre les trois chapitres 45

Figure 16. Atelier de conception visant à construire des itinéraires techniques du colza en agriculture biologique (coll. GAB Ile-de-France) 47

Figure 17. Conceptual framework to identify the specifications of tool(s) in the support of co-design activities, based on characterization of both the design situations (in design workshop) and three interdependent processes: the design goal reformulation, the exploration of solutions and the local adaptation of solutions. 54

Figure 18. Use of design-support tools to visualize the object under design. Establishment of mycorrhizal network between the plant roots (at the four corners) on a board game, in order to reach the nutritive resources (colored pieces), using sticks representing mycorrhizal filaments (in white) and cards describing practices influencing the mycorrhizal network (case D6, Fig. 18a). Design of a conventional CS without glyphosate using the board game Mission Ecophyt'Eau, crop cards and practice cards (case D4, Fig. 18b). 56

Figure 19. Synthesis of reasoning and knowledge mobilized by designers during the three interdependent processes of (i) design goal reformulation, (ii) solutions exploration, and (iii) local adaptation of the solutions and their evaluation 64

Figure 20. Atelier de construction d'un arbre d'exploration pour gérer les adventices (coll. Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie) 69

Figure 21. An example of the *Function-based* resource (FBR) in C1: *exploration tree* to control weeds with low herbicide levels (tree head), showing alternative functions (tree branches framed) and alternative techniques (tree leaves). We built the tree to synthesize the existing exploration process of the group of farmers in C1. It provides a non-exhaustive and non-hierarchical inventory of functions and techniques to reach this objective, to which others can be added (ellipsis). 81

Figure 22. An example of the *Biology-based* resource (BBR) in C7, dedicated to controlling pollen beetle (*Meligethes aeneus)*. It is structured according to biological stages of the pest (left column), shows several alternative functions contributing to control of the pest at each stage (mid-column), and identifies alternative techniques affecting these functions (right column). It provides a non-exhaustive inventory of functions and techniques to control pollen beetles. 83

Figure 23. An example of Experience-based resource (EBR) designed in C6: cropping system designed to be implemented by a farmer in northern France to control thistle in organic agriculture, based on several successful techniques tried and tested by peer farmers. This diagram shows: techniques (in bold), combined techniques (framed, a), reasons why the techniques have been chosen by the farmer (b), conditions of success or failure (c), the characteristics of the situation that explain some of these particularities (d), and the evaluation criteria (e). 85

Figure 24. Les contenus de GECO et les liens sémantiques entre ces contenus (Trouche et al., 2018) 106

Figure 25. Interactions entre une communauté épistémique en ligne orientée production de ressources et des communautés de pratiques orientées usages des ressources dans un processus de conception de systèmes agroécologiques 131

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Outils consultés sur la capitalisation des connaissances concernant les bioagresseurs et les auxiliaires des cultures (réalisé dans le cadre du projet FORCOCO en Juillet 2019, coll. P. SALAZAR)..... 34

Tableau 2. Cette figure est issue de la thèse d'Elsa Berthet, cette matrice de Suh pour illustrer les liens entre les fonctions attendues par un système agricole (FR pour *function requirement*) et les paramètres de conception associés, c'est-à-dire les composantes de ce système (DP pour *design parameter*). 40

Tableau 3. Characteristics of the six design workshops used as case studies 53

Tableau 4. Features of the design goals and strategies for their reformulation..... 58

Tableau 5. Knowledge used by designers in workshops during the exploration of solutions..... 60

Tableau 6. Knowledge types used by designers in workshops during the adaptation of solutions..... 63

Tableau 7. Description of case studies with users (from C1 to C6) and contributors (from C6 to C12) around knowledge-based resources: the function-based resource (FBR), the biology based-resource (BBR), and/or the experience-based resource (EBR). Due to the covid-19 crisis, videoconferencing systems have been used in some cases (C4, C9, C12). APAD: association for sustainable agriculture, CIVAM: centers for initiatives to promote agriculture and rural areas, GIEE: environmental and economic interest groups, GEPACO: knowledge exchange and sharing groups, within the French DEPHY Ecophyto network, IFV: French institute for vine and wine, INRAE: national research institute for agriculture, food and environment..... 78

Tableau 8. Features of the three knowledge-based resources to promote divergent and/or convergent thinking: the function-based resource (FBR), the biology based-resource (BBR) and the experience-based resource (EBR)..... 88

Tableau 9. Selection of exchanges during the users tests..... 91

Tableau 10. Liste de groupes locaux d'agriculteurs et de réseaux de pratique en France (liste non exhaustive)..... 101

Tableau 11. Caractéristiques de l'outil GECO (dès 2014) 108

Tableau 12. Liste des caractéristiques des communautés épistémiques en ligne à partir de la littérature (Barcellini et al., 2008a; Barcellini, 2009; Détienne et al., 2012b; Fréard et al., 2012)..... 111

Tableau 13. Citations issues des entretiens avec les utilisateurs pour illustrer les résultats..... 122

ÉCOLE DOCTORALE
Agriculture, alimentation, biologie, environnement, santé (ABIES)

Titre : Repenser la capitalisation et le partage des connaissances pour le changement de pratiques vers l'agroécologie : propositions d'un cadre socio-cognitif à partir d'une démarche centrée utilisateur

Mots clés : Conception innovante, structuration des connaissances, communauté épistémique en ligne, tests utilisateurs, exploration

Résumé : Favoriser la transition agroécologique suppose de modifier en profondeur les systèmes agricoles actuels en s'appuyant sur des processus de conception innovante. Ces processus appellent à s'intéresser à la fois aux connaissances mobilisées pour le changement de pratiques et aux dynamiques collectives favorisant la production et l'utilisation de ces connaissances. Face à un déficit de connaissances scientifiques pour l'agroécologie, et à la nécessité de construire des pratiques adaptées localement, ces processus mobilisent les connaissances des agriculteurs, issues de pratiques innovantes mises en œuvre, interrogeant ainsi les modes classiques de production, formalisation et circulation des connaissances. Dans ce contexte, la thèse propose de revisiter la capitalisation et le partage des connaissances pour stimuler le changement de pratiques vers l'agroécologie, intégrant des apports de l'agronomie systémique et de l'ergonomie. Notre étude se base sur le cas d'étude de l'outil en ligne GECO, mais nos conclusions ouvrent de plus larges perspectives.

La démarche mise en œuvre, centrée utilisateur, a consisté en i) la réalisation d'un diagnostic des situations de co-conception de systèmes agroécologiques, dans le but d'analyser les connaissances mobilisées pour concevoir des objets nouveaux, ii) la proposition de formats de structuration des connaissances dans des types spécifiques de ressources cognitives, visant notamment à soutenir l'exploration et la préparation de la mise en œuvre de systèmes agroécologiques, et iii) l'amélioration de ces ressources par des tests auprès des utilisateurs, qu'ils soient concepteurs de nouvelles pratiques, et donc utilisateurs potentiels de ces ressources, ou contributeurs, et donc producteurs potentiels de telles ressources (ex. agriculteurs, conseillers agricoles, expérimentateurs, enseignants, chercheurs). Nous proposons enfin, un dispositif de capitalisation collective des connaissances mobilisant une plateforme en ligne, visant à favoriser l'hybridation entre des connaissances scientifiques et empiriques, détenues par des acteurs agricoles dispersés sur le territoire et dans des organismes de R&D. Nous proposons également des pistes pour développer une communauté épistémique en ligne qui vise à produire, de manière collaborative et évolutive, des ressources cognitives, en mettant en place une animation qui favorise l'articulation entre la production et l'usage de ces ressources.

Ce travail contribue à la proposition d'un cadre socio-cognitif pour accompagner la capitalisation des connaissances sur les systèmes agroécologiques, afin de soutenir les processus de conception.

Title : Reshape Knowledge capitalisation and sharing to support the change of practices towards agroecology, a socio-cognitive framework based on a user-centered approach

Keywords : innovative design, knowledge structuring, online epistemic communities, user tests, design exploration

Abstract : To fuel agroecological transition, agricultural systems need to be changed profoundly, thus requiring innovative design processes. These changes call for revisiting both the knowledge used during design processes and the collective approaches for the production and mobilisation of knowledge. To address the lack of scientific knowledge, and the need to design locally adapted cropping systems, design processes require knowledge from farmers gained from the implementation of innovative practices, thus interrogating the production, formalisation and capitalisation of knowledge. In this context, our research aims at rethinking knowledge capitalisation and sharing, and embeds the combined use of theoretical bases from system agronomy and ergonomy. It is based on the case study of the GECO web tool, but our findings are put into a broader perspective.

We implemented a user-centered approach composed of i) the diagnosis of use situations to examine which knowledge was shared between designers and how, to collectively build new agroecological systems, ii) the development of frameworks of cognitive resources, with specific knowledge structure, to support the exploration and implementation of agroecological systems in the field and iii) the improvement of these resources through user tests, with designers and facilitators of design workshops who were likely to draw on these resources in their design process or with contributors producing these resources (i.e. farmers, advisors, teachers, researchers). Finally, we recommend an innovative framework of knowledge capitalisation through the use of a single online platform, aiming at mixing scientific and local knowledge. This knowledge is held by a wide range of actors from dispersed geographical territories and from diverse R&D organisations. We also suggest the development of an online epistemic community aiming at producing cognitive resources, in a collaborative and evolutive way, emerging from interactions between production and use of resources. This thesis presents a socio-cognitive framework to rethink knowledge capitalisation and sharing on agroecological systems, towards the support of design processes.

Maison du doctorat de l'Université Paris-Saclay
2ème étage aile ouest, Ecole normale supérieure Paris-Saclay
4 avenue des Sciences,
91190 Gif sur Yvette, France