

ARTICLE

Capitaliser les connaissances avec les acteurs pour concevoir des systèmes agroécologiques

Maude Quinio*, Paola Salazar*, Antoine Gardarin*, Marie-Sophie Petit**, Marie-Hélène Jeuffroy*

* Université Paris-Saclay, AgroParisTech, INRAE, UMR Agronomie, 78850 Thiverval Grignon, France

**Chambre régionale d'agriculture Bourgogne - Franche-Comté, 21110 Bretenière

Résumé

Favoriser la transition agroécologique suppose de modifier en profondeur les systèmes agricoles, en particulier en valorisant les processus naturels. La conception de systèmes agroécologiques mobilise les connaissances des acteurs, dont les connaissances des agriculteurs acquises par la formalisation. Nous avons dans cet objectif développé trois outils standardisés de capitalisation et de partage des connaissances. Ces outils ont été testés avec des utilisateurs, concepteurs de systèmes agroécologiques ou avec des contributeurs qui produisent et alimentent ces outils. Nous montrons que la capitalisation collective, entre des acteurs agricoles dispersés sur le territoire et dans différents organismes de développement agricole, favorise l'enrichissement des outils. Dans les perspectives, nous considérons l'usage d'une plateforme en ligne pour soutenir la production et le partage de ces outils de capitalisation des connaissances.

Mots clés : connaissances issues de l'action, formalisation de connaissances, atelier de capitalisation, outils de capitalisation, tests d'usage

Abstract

To fuel agroecological transition, agricultural systems need to be deeply changed and to promote agroecological principle valuing biological functions and regulations. The design of agroecological cropping systems relies on a wide range of knowledge held by scattered key stakeholders, including farmers' knowledge gained from their practical implementation of farming practices. Knowledge capitalisation and sharing are needed to support the design of agroecological systems in several situations. To that aim, we suggest three knowledge-based tools to favour the exploration of new ideas. These tools have been improved through user tests, with designers and facilitators of design workshops, and with contributors producing these tools. Their improvement, in a collaborative and evolutive way, was enriched by the involvement of actors from diverse R&D organisations, all being committed to agroecology. We finally discuss the use of an online platform to support knowledge capitalisation and sharing.

Introduction

Favoriser la transition agroécologique, en particulier la réduction de l'usage d'intrants de synthèse, suppose de modifier en profondeur les systèmes agricoles. Dans le modèle agricole dominant actuel, construit depuis plusieurs décennies, où un problème est résolu par un intrant ou une intervention mécanique, relever ce défi n'est ni trivial, ni aisé. Les systèmes agroécologiques (ex. une pratique, un itinéraire technique, un système de culture) reposent sur la valorisation des processus naturels à l'origine de fonctions et de régulations biologiques, où on ne cherche plus à contrôler l'ensemble des facteurs limitants via l'usage d'intrants. Des travaux montrent que le développement de systèmes agricoles respectant les principes de l'agroécologie est favorisé par la mise en place de processus de conception innovante (Meynard *et al.*, 2012 ; Prost *et al.*, 2017). D'un point de vue général, la conception est un processus consistant à créer un nouvel objet, adapté à une situation donnée, et visant à atteindre un nouvel objectif, parce que ce qui existe n'est pas totalement satisfaisant (Le Masson *et al.*, 2017 ; Visser, 2009). En agriculture, la diversité des contextes pédo-climatiques et socio-économiques et la variété des objectifs possibles imposent de réaliser des processus de conception situés localement. Par ailleurs, l'immense panel de connaissances à mobiliser 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.

Les connaissances mobilisées dans des processus de conception de systèmes agroécologiques sont diverses, en nombre et en nature. Ce sont des connaissances scientifiques, mais aussi des connaissances empiriques détenues par les praticiens (Doré *et al.*, 2011 ; Soullignac, 2012). En effet, compte tenu de la sensibilité des processus écologiques aux conditions locales, et de l'existence de trous de connaissances scientifiques sur certaines régulations biologiques (ex. on est loin de connaître les interactions de chaque plante avec les auxiliaires), la conception de systèmes agroécologiques mobilise les connaissances des acteurs, dont les agriculteurs, issues de l'action (ex. l'efficacité d'une technique pour atteindre un résultat dans une situation donnée). Les connaissances des agriculteurs acquises par la pratique nécessitent une étape de formalisation, le plus souvent par hybridation avec des connaissances scientifiques, pour être transmises à d'autres et aider la reconception de systèmes dans d'autres situations (Salembier *et al.*, 2021). Elles sont produites dans des situations singulières, difficilement extrapolables directement, et peuvent être perçues comme des connaissances « imparfaites » (Girard, 2014). Des travaux montrent également que les agriculteurs mobilisent des connaissances fondamentales pour concevoir des systèmes agroécologiques (Toffolini *et al.*, 2017). Ces connaissances décrivent, par exemple, un processus biologique ou physiologique : ex. l'évolution dynamique des réserves racinaires des chardons, qui permet d'identifier la meilleure période pour réaliser un travail du sol visant à épuiser ces réserves, et donc imaginer une solution technique permettant de maîtriser le chardon (Favrelière *et al.*, 2020).

Des dispositifs collectifs ont été proposés pour imaginer des solutions techniques innovantes (Meynard *et al.*, 2012). C'est le cas des ateliers de conception qui rassemblent physiquement des acteurs autour d'un projet de conception (Lançon *et al.*, 2008 ; Leclère *et al.*, 2021 ; Reau *et al.*, 2012). Les participants à un atelier de conception ne s'accordent pas toujours sur les mêmes objectifs et contraintes au démarrage de l'atelier, et il est nécessaire de confronter et partager les différentes représentations de l'objectif à atteindre. Les ateliers de conception permettent à une diversité d'acteurs d'échanger des connaissances et de confronter des expériences, dans l'objectif d'explorer collectivement une large gamme de solutions alternatives mobilisables ou imaginables pour atteindre une cible ambitieuse partagée. Néanmoins, parce qu'ils privilégient souvent le raisonnement par analogie (Bonnardel, 2000), les participants à un atelier peuvent rester fixés sur des solutions existantes (connues et validées scientifiquement ou mises en œuvre par un pair). Ce phénomène, appelé l'effet de fixation, limite l'innovation (Agogué *et al.*, 2014).

Les acteurs de la R&D agricole cherchent à capitaliser les connaissances produites sur des systèmes

agroécologiques (ex. une infrastructure agroécologique, une pratique alternative, souvent combinée à d'autres pratiques, un système de culture), expérimentés par des agriculteurs innovants ou en stations expérimentales, pour faire connaître leurs résultats à un public large. Par exemple, les schémas décisionnels ont été proposés dans cet objectif (Havard et al., 2017 ; Petit et al., 2012 ; Schaub et al., 2016), et représentent l'ensemble des pratiques mobilisées à l'échelle d'une succession de cultures, pour atteindre un résultat visé et explicite, par exemple pour maîtriser les bioagresseurs (adventice, ravageur, agent pathogène). Ces acteurs partagent ces connaissances et les formalismes produits sur les sites internet de chaque institution ou réseau (ex. RMT Systèmes de culture innovants), ou sur des plateformes nationales (ex. GECO, EcophytoPIC, Plateforme de la R&D Agricole). Néanmoins, l'usage de ces formalismes est peu étudié, et semble peu répandu. Il y a donc un enjeu majeur à décrire des systèmes mis en œuvre dans des situations singulières, tout en permettant les processus de contextualisation/décontextualisation des connaissances (décrits dans Toffolini et al., 2016), et ainsi favoriser la montée en généralité et la réutilisation des connaissances dans d'autres contextes.

Compte tenu de ces constats, nous proposons de soutenir une exploration nécessaire et favorable à la génération de solutions agroécologiques adaptées localement, par la production d'outils spécifiques de capitalisation de connaissances, avec les utilisateurs de ces outils.

Méthodologie et cas d'étude

Présentation de la méthode

A partir d'une analyse de la mobilisation de connaissances dans des ateliers de conception (Quinio, 2021), nous proposons des règles pour produire trois outils standardisés de capitalisation de connaissances : un *arbre fonctionnel d'exploration*, un *tableau « biologie-fonction-technique » relatif à un bioagresseur* (appelé, dans la suite *tableau bioagresseur*) et un *schéma logique d'action*. Ces outils visent à formaliser et structurer des connaissances génériques et situées, hybridant connaissances sur les processus écologiques ou sur les bioagresseurs, connaissances sur les actions techniques permettant de modifier ces processus, et savoir-faire d'agriculteurs sur ces techniques. Ces outils ont été co-construits et testés avec différents acteurs du monde agricole, afin de les améliorer et de les adapter à leurs usages. Dans notre démarche, nous distinguons : (i) les contributeurs, détenteurs des connaissances dans un domaine donné, qui contribuent à la production et à l'enrichissement du contenu de tels outils, et (ii) les utilisateurs qui mobilisent de tels outils pour stimuler l'exploration d'idées en situation de conception (ex. agriculteurs, animateurs). Certains acteurs ont le double rôle. Pour la réalisation de tests d'usages de ces outils, deux ateliers de conception (2019) et un atelier de capitalisation (2020) ont été organisés.

Un atelier de conception est un dispositif d'échanges structurés entre une diversité d'acteurs, agricoles et non agricoles, et vise à élaborer des solutions pour répondre à une cible de conception (Lançon et al., 2008 ; Reau et al., 2012). Il peut être organisé pour repenser le système d'un agriculteur spécifique (Guillier et al., 2020), ou imaginer un système représentatif d'un territoire (Pelzer et al., 2017). Un atelier de conception s'organise en plusieurs étapes : la formulation et le partage de la cible de conception, un partage de connaissances permettant d'initier l'exploration, une phase d'exploration de solutions permettant l'émergence progressive de l'objet conçu (ses propriétés), et son évaluation (démarrant généralement lors de l'atelier, mais se poursuivant le plus souvent au-delà, notamment par la mise en œuvre du système conçu, sur le terrain) (Reau et al., 2018). La génération de solutions innovantes repose sur une large exploration d'options techniques susceptibles de contribuer à l'atteinte de la cible de conception. Afin de sortir des sentiers battus, des solutions déjà connues par les participants, et pour limiter l'effet de fixation, l'animateur de l'atelier, en guidant les échanges, a un rôle clé pour favoriser cette exploration (Cerf et al., 2016).

Un atelier de capitalisation vise à documenter collectivement une expérience, par la production et la formalisation des connaissances qui en sont issues, pour leur mise à disposition à d'autres

acteurs, en vue de leur usage en conception (ex. schéma décisionnel, Reau *et al.*, 2012 ; Petit *et al.*, 2012). L'objectif est de garder une trace des choix techniques de l'agriculteur dans une situation donnée, et des raisons de ces choix, des critères qui ont permis à cet agriculteur d'affiner et de valider ce choix, en vue de faciliter et fiabiliser la réutilisation des solutions techniques dans une autre situation (ex. Pourquoi a-t-on besoin de cette technique ? Pourquoi cette technique et pas une autre ? comment décider de la mise en œuvre de cette technique ? Quelles conditions réunir pour réussir cette technique ?). L'atelier repose sur l'identification, la formulation et la mise en forme des connaissances à partager sur un système agroécologique, qui seront utiles et génératives, c'est-à-dire qui favorisent l'exploration de nouvelles idées dans un processus de conception. Cette activité de capitalisation est favorisée par des échanges entre les pilotes de l'expérience (responsables d'une expérimentation système, agriculteur innovant), les mieux à même de formuler les connaissances générées au cours de l'expérience, et des concepteurs de systèmes agricoles (ou des personnes enseignant la conception), utilisateurs potentiels de ces connaissances dans des processus de conception.

Présentation des ateliers réalisés

Notre démarche a été menée dans trois cas d'étude afin de réaliser des tests d'usages des trois outils, auprès des utilisateurs potentiels (Cerf *et al.*, 2012). Pour cela, nous avons organisé des ateliers de conception auprès de concepteurs de systèmes agroécologiques, et des ateliers de capitalisation (Tableau 1). Dans le premier cas d'étude, deux ateliers ont été organisés dans le cadre de la construction du programme d'action de Bassins d'Alimentation de Captage (BAC) avec des agriculteurs. Un premier atelier de conception visait à concevoir des systèmes de culture permettant d'atteindre une qualité d'eau fixée : les objectifs ont été reformulés par les animatrices de l'atelier en identifiant des seuils de Reliquat Entrée Hiver et IFT Herbicides à ne pas dépasser (Tableau 1). Les agriculteurs, scindés en deux groupes, ont construit des systèmes de culture représentatifs du territoire, susceptibles d'atteindre ces objectifs. Un deuxième atelier a été réalisé deux semaines plus tard, pour poursuivre les échanges au sein du collectif et affiner les systèmes conçus, en s'appuyant sur un *arbre d'exploration* produit à partir du premier atelier et des schémas décrivant les systèmes conçus lors du premier atelier.

Dans le second cas d'étude, un atelier de conception visant à construire des itinéraires techniques du colza pour deux agriculteurs, l'un en agriculture biologique, et l'autre en agriculture conventionnelle souhaitant réduire l'usage des herbicides et visant zéro insecticide, a été organisé avec le Groupement des Agriculteurs Biologiques (GAB) de la région Ile de France. La cible globale de conception a été reformulée pour prendre en compte les objectifs et contraintes propres à chaque agriculteur. Une des étapes de l'atelier consistait à explorer des options techniques. Dans ce cas, un des agriculteurs du groupe a partagé un témoignage sur son système à bas niveau d'intrants, un expérimentateur (Association Bio en Hauts-de-France) a présenté des résultats d'essais sur une solution technique, le colza associé, et une des animatrices (INRAE) a exposé des connaissances sur le fonctionnement des principaux bioagresseurs du colza, en présentant un *tableau bioagresseur* sur les méligèthes du colza.

Enfin, dans le dernier cas d'étude, nous avons participé à des ateliers de capitalisation des connaissances, organisés par la Chambre Régionale d'Agriculture (CRA) Bourgogne Franche-Comté dans le cadre du programme ARPIDA [Cap'Systèmes](#), mobilisant des conseillers agricoles de Chambres d'Agriculture (CA) Départementales, et des acteurs de la recherche. L'objectif était de formaliser des systèmes de culture sans glyphosate, conçus par des agriculteurs lors d'une formation, puis testés au champ.

Type d'atelier	Objectif global de conception	Institution(s) et localisation	Collectif mobilisé (hors animateur)	Temporalité	Outil mobilisé
Conception	Aucun dépassement au-dessus de 75% de la norme potabilité soit 0,075 µg/L ; Obtenir un Reliquat Entrée Hiver inférieur à 50 kgN/ha	CRA Normandie, Ville de Gisors, SAEP d'Hébécourt, SIE du Vexin Normand, SAEPA du Bray Sud et INRAE UMR Agronomie	Agriculteurs : céréaliers et polyculteurs-éleveurs en agriculture biologique ou conventionnelle vers la réduction du travail du sol	Deux journées en présentiel (J et J+15)	L'arbre fonctionnel d'exploration
Conception	Concevoir un itinéraire technique du colza robuste en agriculture biologique	GAB Ile de France, Association Bio Hauts-de-France et INRAE UMR Agronomie	Agriculteurs (agriculture biologique, intégrée, conventionnelle), technicien, conseillers agricoles, expérimentateur	Une journée en présentiel	Tableau bioagresseur
Capitalisation	Formaliser un SDC sans glyphosate conçu en formation puis testé au champ	CRA Bourgogne - Franche-Comté, CA Saône et Loire, CA Yonne et INRAE UMR Agronomie	Conseillers agricoles, animateurs	Visioconférence	Schéma décrivant la logique d'action

Tableau 1 : Description des ateliers réalisés, Chambre Régionale d'Agriculture (CRA), Chambres d'Agriculture (CA) Départementales, Groupement des Agriculteurs Biologiques (GAB), l'Institut National de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), Syndicat Intercommunal des Eaux (SIE) et Syndicat d'adduction d'eau potable et d'assainissement (SAEPA), Système de culture (SDC)

Description des outils et leurs usages pour animer chaque atelier

Dans cette section, nous présentons les outils de capitalisation de connaissances : *l'arbre fonctionnel d'exploration*, le tableau « *biologie-fonction-technique* » relatif à un bioagresseur et le schéma logique d'action. Chaque atelier a mis en œuvre un seul de ces outils, toutefois ces outils sont complémentaires et peuvent être mobilisés ensemble dans un même atelier (Tableau 1).

L'arbre fonctionnel d'exploration

L'arbre fonctionnel d'exploration s'inspire des travaux de Reau *et al.* (2016) et Hatchuel & Weil (2009). Il a pour objectifs de faciliter et stimuler l'exploration de solutions pour atteindre un objectif en montrant des alternatives possibles, tout en donnant la possibilité de créer des nouvelles solutions, via le raisonnement fonctionnel qui est suggéré (Figure 1). Il est composé (i) d'une « tête » (à gauche) représentant la cible de conception, (ii) des fonctions, décomposant la cible, (iii) des sous-fonctions qui permettent d'atteindre les sous-objectifs (milieu de l'arbre), et (iv) une gamme d'options techniques permettant d'atteindre les fonctions identifiées (à droite). Les fonctions sont formulées sous la forme d'une action (verbe), permettant d'agir sur des processus biologiques ou physiques, et ne sont pas hiérarchisées. Par exemple, un arbre d'exploration a été construit pour identifier des options techniques contribuant à réduire les pertes de nitrates (Figure 1) : une des fonctions identifiées est de favoriser l'absorption de l'azote minéral durant l'automne, et une des techniques agissant sur cette fonction est l'insertion d'un couvert végétal en période d'interculture (courte et longue).

Sachant que les concepteurs ont tendance à rester fixés sur un petit nombre de solutions déjà connues (Agogué *et al.*, 2014), nous proposons plusieurs règles de construction pour stimuler l'exploration (caractère génératif), qui ont été discutées avec les acteurs. La première règle est de rendre explicite le fonctionnement de l'agroécosystème, de manière à stimuler et soutenir le raisonnement agronomique du concepteur, et ne pas fournir uniquement une liste d'options techniques, qui l'inciterait uniquement à choisir dans la gamme proposée (c'est-à-dire à se positionner dans une posture de décision plutôt que de conception). La seconde règle est d'éviter d'associer une fonction à une seule technique (lien déterministe), ce qui limite l'exploration (Brun *et al.*, 2018). En effet, plusieurs techniques alternatives peuvent généralement être mobilisées pour agir sur une fonction et, inversement, une technique peut satisfaire plusieurs fonctions. La mise en visibilité de cette diversité permet non seulement de proposer un inventaire d'options techniques, élargissant ainsi les alternatives possibles et suggérant des solutions nouvelles, pas toujours envisagées spontanément par les participants, mais aussi de stimuler l'émergence de solutions nouvelles par le raisonnement agronomique basé sur les connaissances du fonctionnement de l'agroécosystème. Une troisième règle est de faire apparaître des techniques qui peuvent être soit connues et validées par les canons scientifiques classiques, soit plus exploratoires (ex. validées par la pratique, en particulier lorsqu'elle est rencontrée dans plusieurs situations différentes, ou par la confrontation entre la pratique et les connaissances du fonctionnement de l'agrosystème). Une quatrième règle est que l'on ne doit pas chercher à produire un arbre exhaustif : par exemple, il est possible de ne pas associer de techniques à une fonction, volontairement, pour donner envie aux acteurs de compléter l'arbre avec de nouvelles idées issues de leurs propres expériences, ou pour les inciter à inventer de nouvelles solutions, inconnues pour eux. Enfin, dernière règle, nous encourageons à mélanger, dans un même arbre, des techniques spécifiques de certains modes de production (ex. agriculture biologique, agriculture de conservation des sols...) ou filières, pour stimuler l'inspiration.

A l'issue de cet atelier de conception visant à faire de l'eau propre, deux *arbres fonctionnels d'exploration* ont été produits pour synthétiser l'ensemble des solutions techniques sélectionnées dans les groupes (un pour limiter les pertes en azote, représenté dans la Figure 1, et un pour réduire l'usage des herbicides, non présenté ici). Les techniques sélectionnées pendant l'atelier ont été

différenciées des autres solutions techniques existantes, qui n'ont pas été retenues (par un code couleur). Les deux arbres ont été présentés au même collectif d'agriculteurs lors d'un deuxième atelier, pour poursuivre les discussions sur les systèmes de culture conçus. Nous constatons que, pour limiter les pertes en azote, la fonction principalement mobilisée par les agriculteurs a été l'absorption de l'azote durant l'automne. Lors du 2nd atelier, la mise en évidence, dans l'arbre, des options privilégiées lors du 1^{er} atelier ont incité les agriculteurs à échanger sur les autres options présentes dans l'arbre (ex. utilisation de l'OAD Farmstar pour gérer la fertilisation en culture et laissant peu d'azote à la récolte).

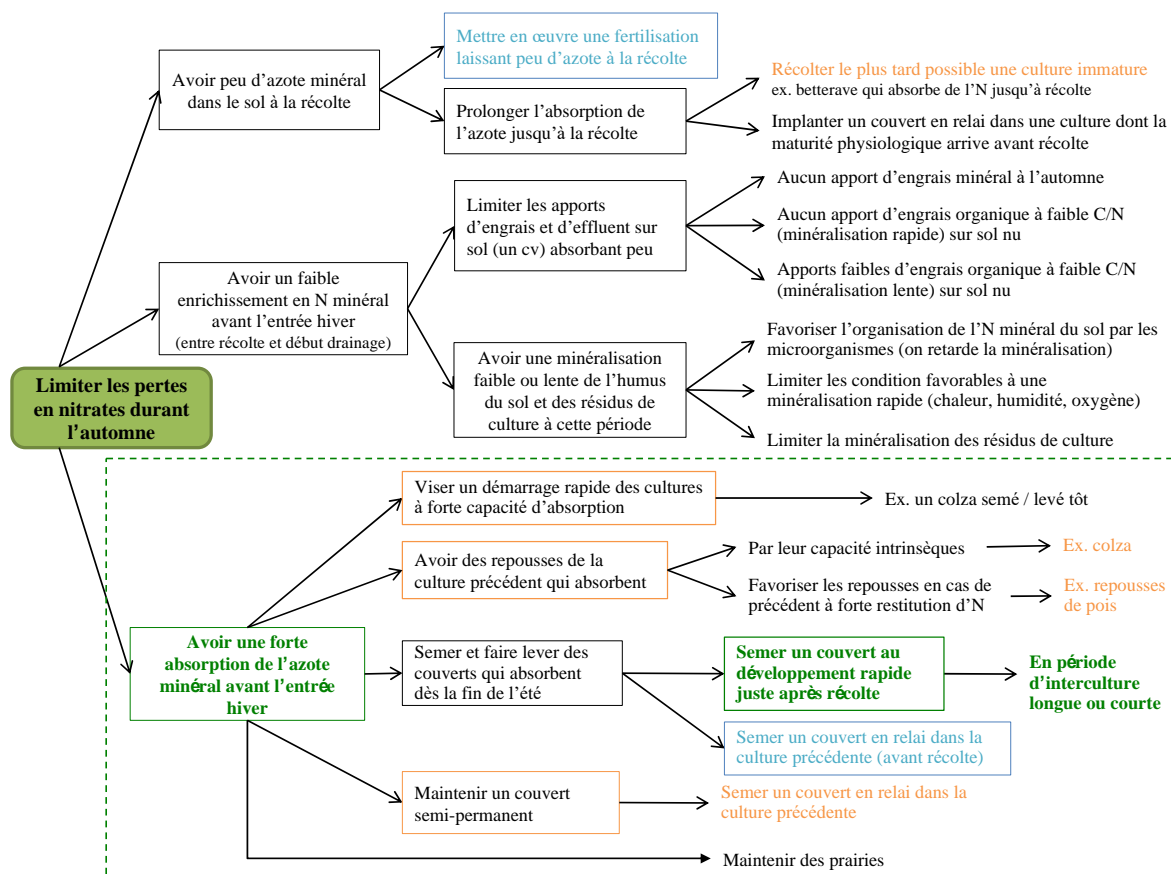


Figure 1 : L'arbre d'exploration fonctionnelle pour limiter les pertes en azote (la cible de conception à gauche), décomposé en fonctions et sous-fonctions, qui propose une gamme non exhaustive de techniques mobilisables pour réaliser ces fonctions (à droite), avec les techniques largement mobilisées en vert et peu mobilisées en orange par les deux groupes lors du premier atelier de conception, et les techniques encadrées en bleu discutées lors du second atelier

Le tableau « biologie-fonction-technique » relatif à un bioagresseur

Le tableau « biologie-fonction-technique » bioagresseur a pour objectif de favoriser l'exploration de solutions pour maîtriser un bioagresseur particulier (adventice, ravageur, agent pathogène). Les différents stades du cycle de vie du bioagresseur sont décrits et positionnés sur un calendrier pour préciser les étapes de son évolution au long de l'année. Pour chaque stade du cycle de vie, le tableau relie i) des connaissances sur la biologie du bioagresseur (à gauche), ii) des fonctions caractérisant ce cycle de vie et influençant le développement du bioagresseur, éventuellement en interaction avec des organismes auxiliaires (au milieu) et iii) des techniques agricoles mobilisables pour réaliser ces fonctions, économes en pesticides (à droite). Par exemple, les méligèthes adultes émergent au printemps et localisent les champs de colza grâce à des stimuli visuels (couleur jaune) et olfactifs (composés organiques volatiles). Il est possible de dévier les méligèthes de la culture hôte (fonction), le colza, par perturbation visuelle et/ou olfactive (Figure 2). Une manière de

perturber cette localisation est d'installer une culture piège, plus attractive que le colza, en bordure de parcelle comme la navette, la moutarde ou une variété de colza à floraison précoce. C'est dans les liens entre caractéristiques du cycle de vie du bioagresseur et fonctions affectées que repose l'originalité de cet outil, et son caractère génératif c'est-à-dire qui facilite l'exploration de nouvelles idées. Nous avons réfléchi à une structure générique, qui puisse être facilement déclinée pour d'autres bioagresseurs. Afin de favoriser l'exploration, les règles de construction de cet outil sont similaires à celles de *l'arbre fonctionnel d'exploration*.

Le *tableau bioagresseur* a été mobilisé pour partager des connaissances durant un atelier de conception, organisé pour concevoir deux itinéraires techniques du colza sans pesticides. Le tableau sur les méligèthes a été proposé pour relier des connaissances sur le cycle de vie du ravageur, et les techniques permettant de limiter son développement, tout en explicitant les fonctions sur lesquelles ces techniques agissent durant une phase précise du cycle de vie (Figure 2). Dans notre cas d'étude, c'est l'animatrice de l'atelier qui a produit le *tableau bioagresseur* pour organiser les connaissances utiles à partager aux participants de cet atelier de conception centré sur le colza, pour lequel le méligèthe est un bioagresseur fréquent à maîtriser (coll. avec des experts détenteurs des connaissances sur ce ravageur).

Stades du méligèthe du colza (<i>Meligethes aeneus</i>)												Fonctions visées	Techniques, combinaisons de techniques	
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Stade adultes (1^{ère} génération) : émergence et reproduction - Les adultes quittent leur lieu d'hivernation dès la fin mars. Quand la température de l'air atteint 15°C, ils se déplacent massivement et parcourent de grandes distances (1 à 3 Km/j) vers les champs de colza, qu'ils localisent par la vision (la couleur jaune) et l'odorat (émission des Composés Organiques Volatiles). - Les dégâts sont provoqués par les morsures des adultes qui perforent les boutons floraux pour se nourrir du pollen (avortement des boutons) - Les femelles pondent à la base des boutons floraux (pas de dégâts).	Surveiller la dynamique de la population	- Installer des cuvettes jaunes sur la parcelle pour piéger les adultes (indicateur de présence du ravageur)
													Dévier le ravageur de sa culture hôte	- Introduire une culture piège pour attirer les méligèthes en bordure de parcelle. Ex. la navette (Pull) - Introduire une culture à l'intérieur de la parcelle pour repousser les méligèthes. Ex. Lavande, COV (Push) - Introduire une variété de colza à floraison précoce en faible proportion (effet dilution). Ex. 10% ES Alicia
													Diminuer l'attractivité de la culture hôte	- Choisir des variétés moins appétantes pour les méligèthes. Ex. faible teneur en saccharose (test en cours)
													Détruire le ravageur	- Utiliser des produits de biocontrôle
													Favoriser la capacité de compensation du colza	- Adapter la fertilisation azotée pour favoriser l'émergence de nouveaux boutons floraux et de ramifications secondaires
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Stade œufs et larves Les œufs éclosent 4-6 jours après la ponte (selon la T°) à l'intérieur des boutons floraux. Les larves se développent et se nourrissent du pollen des fleurs de colza pendant 3 voire 4 sem. (selon T°) sans causer de dégâts sur la culture.	Détruire les larves	...
													Favoriser le parasitisme	- Installer des bandes fleuries pour fournir des ressources alimentaires aux parasitoïdes des larves de méligèthes pour limiter la population l'année suivante (ex. <i>Tersilochus Heteroceris</i> et <i>Phradis spp.</i>)
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Stade Nymphes (quelques semaines) Fin Mai (fin de la floraison du colza): les larves tombent au sol et se nymphosent à 2-3 cm de profondeur	Favoriser la prédation	- Installer des IAE (ex. bandes fleuries pérennes) près des parcelles du colza pour favoriser la présence d'auxiliaires généralistes (ex. carabes, staphylins, araignées)
J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		Favoriser la prédation et/ou le parasitisme ☒	- Installer / entretenir des IAE (ex. nichoirs, points d'eau, bandes fleuries) pour favoriser la prédation par des oiseaux avant que les méligèthes arrivent à leurs lieux d'hivernation - Préserver des espaces semi-naturels pour favoriser la présence de champignons du sol qui parasitent les adultes pendant l'hiver (ex. <i>Beauveria bassiana</i> et <i>Metarhizium anisopliae</i>)
Caractéristiques à l'échelle de la rotation et du paysage - Forte capacité de dispersion des adultes - Présence du colza obligatoire pour boucler le cycle												Casser le cycle du ravageur ☒	- Augmenter le délai de retour du colza à l'échelle du territoire - Éviter de cultiver du colza à côté des zones boisées - Faire une année sans colza dans un territoire	

Figure 2 : Extrait du tableau sur le méligèthe du colza

Le schéma logique d'action

Le *schéma logique d'action* s'inspire en partie du schéma décisionnel de gestion (Petit et al., 2012 ; Schaub et al., 2016), et a pour objectif de représenter la logique d'action d'un pilote de système innovant contribuant à l'agroécologie, explicitant les raisons pour lesquelles ces techniques ont été choisies dans cette situation. Cet outil, sous forme d'un schéma, décrit de manière chronologique un système agricole (itinéraire technique, ou système de culture, ou pratiques appliquées sur une parcelle et son environnement proche), expérimenté en station expérimentale ou mis en pratique

chez un agriculteur. Il permet également de présenter des systèmes conçus en atelier de conception, non encore mis en œuvre.

Ce schéma permet d'expliciter et de visualiser les liens explicites entre six éléments :

- les objectifs visés et leurs déclinaisons sous la forme de résultats attendus, explicités par le pilote,
- les techniques et les combinaisons de techniques, choisies par le pilote pour atteindre ces objectifs,
- les raisons pour lesquelles chaque technique a été sélectionnée et combinée à d'autres techniques, pour atteindre l'objectif(s), dans la situation donnée,
- les conditions de réussite ou d'échec de la mise en œuvre des techniques choisies,
- les caractéristiques de la situation qui expliquent certains choix spécifiques (par exemple, des caractéristiques pédo-climatiques justifiant le choix de certaines espèces),
- les critères d'évaluation sur lesquels se base l'agriculteur pour évaluer si les techniques mises en œuvre ont atteint l'objectif visé (par exemple, des états de culture ou d'environnement à atteindre), et les indicateurs de pilotage utilisés pour déclencher une action.

C'est dans le 3^{ème} cas d'étude qu'un conseiller agricole, animateur d'une formation auprès d'agriculteurs, a schématisé les systèmes de culture conçus pour gérer les adventices sans usage du glyphosate en représentant la succession culturale et les principales interventions techniques (Figure 3).

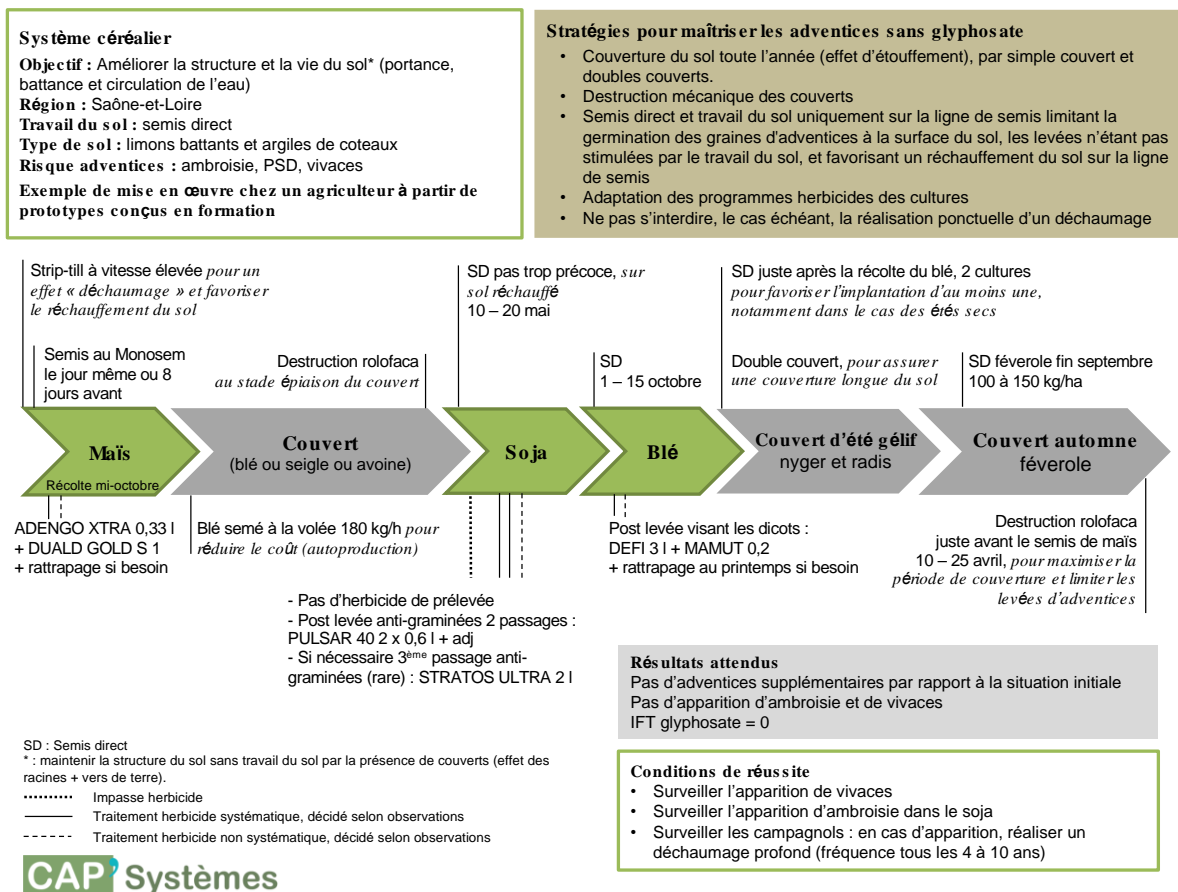


Figure 3 : Le schéma logique d'action sur un système de culture visant à maîtriser les adventices sans glyphosate, mis en œuvre chez un agriculteur à partir d'un prototype conçu en formation

Les outils de capitalisation de connaissances ont été utilisés, dans les trois cas d'étude, par l'animateur d'un atelier de conception pour différents usages : soit pour partager des

connaissances nouvelles durant l'atelier, soit pour stimuler l'exploration ou pour synthétiser l'objet conçu lors de l'atelier. D'autres usages ont été mentionnés par certains animateurs, comme par exemple synthétiser les résultats d'une traque à l'innovation dans un arbre d'exploration (Salembier *et al.*, 2021 ; Verret *et al.*, 2020).

La production collective des outils de capitalisation de connaissances

L'amélioration des outils de capitalisation des connaissances par apprentissage

Des améliorations des outils de capitalisation ont été proposées par les utilisateurs lors des ateliers (des tests en situation réelle d'usage). Une demande des agriculteurs et des conseillers agricoles est de voir apparaître dans l'*arbre fonctionnel d'exploration* des informations concernant l'efficacité d'une technique pour atteindre une fonction à laquelle elle est associée (ou un sous-objectif, voire l'objectif global). Ils souhaitent également accéder au degré d'accessibilité de la technique (ex. requiert un matériel spécifique), et savoir si la technique est généralisée et adoptée par une majorité d'agriculteurs, ou bien si elle est en cours d'étude. Les ressources ont été retravaillées dans ce sens, bien que cette efficacité soit souvent relative au contexte dans lequel elle est implémentée et à l'expérience et la compétence, que le pilote a acquise. Elles permettent également de faire le point sur les connaissances existantes, sur les lacunes, sur les interactions à explorer, et contribuent ainsi à orienter l'acquisition de connaissances.

Des améliorations des outils ont également été proposées lors des tests contributeurs. Les discussions avec des personnes extérieures à la conception du prototype ont permis d'enrichir et de restructurer le document initial, pour rendre l'information plus accessible et compréhensible (en évitant les formulations implicites). Le collectif a ainsi formulé des connaissances actionnables, c'est-à-dire des connaissances qui favorisent la mise en action (Faugère *et al.*, 2010). Parmi ces connaissances, certains indicateurs ont permis aux agriculteurs de préciser les modalités de la mise en action (ex. « semis direct du soja pas trop précoce » sur sol réchauffé, Figure 3). Par ailleurs, la question du langage mobilisé a également été abordée. Pour renforcer la réutilisation de cet outil, le langage doit être accessible et compréhensible par les acteurs qui utiliseront l'outil (ex. ne pas indiquer seulement le nom de l'herbicide appliqué mais également les adventices ciblées). 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 »).

De plus, la question de l'échelle de l'objet agronomique à décrire a été abordée dans le 3^{ème} cas d'étude. Un système de culture, souvent complexe et contextualisé, ne peut pas être transféré à l'identique dans une autre situation. Pour formaliser ce qui est transposable, des acteurs ont évoqué l'idée de décrire des sous-ensembles cohérents de ce système de culture, sans négliger le caractère systémique. Enfin, des demandes ont été formulées par les conseillers pour mieux représenter les interactions entre techniques, et les interactions entre une technique et l'environnement, pour atteindre une fonction visée.

Nous avons proposé des outils évolutifs. Ainsi, l'arbre visant à réduire l'usage des herbicides a été complété à partir de l'exploration d'autres situations de conception, dans d'autres régions. Par ailleurs, dans un cas où l'arbre a été mobilisé pour imaginer des systèmes non-labourés, la question s'est alors posée de conserver, ou non, dans l'arbre d'exploration des solutions techniques incompatibles avec l'agriculture de conservation des sols. Nous avons constaté que le fait d'indiquer une fonction sur laquelle agit le labour en enfouissant les graines (ex. limiter la germination des graines adventices) a incité les acteurs à expliciter comment le non-labour permet également d'atteindre la fonction (ex. limiter la germination en favorisant la dessiccation des graines localisées en surface).

La production collective dans une plateforme nationale et centralisée

La mise à disposition de ces outils dans une plateforme en ligne permet de partager les connaissances entre une plus grande diversité d'acteurs. Les outils ont été pensés en interaction avec le cadre existant de GECO, plateforme proposée dans le cadre du plan Ecophyto et de différents réseaux¹ et programmes², qui a pour base le prototype Agro-PEPS développé par le Réseau Mixte Technologique Système De Culture Innovants (Guichard *et al.*, 2015 ; Trouche *et al.*, 2016). Au sein de la plateforme, des liens peuvent être créés entre les trois outils que nous avons développés, ainsi qu'avec les *fiches techniques* et les *fiches exemple de mise en œuvre* de GECO (déjà existantes au démarrage de ce travail). En effet, le modèle sémantique proposé dans GECO favorise les liens entre les différents outils de capitalisation disponibles au sein de la plateforme (Trouche *et al.*, 2016). Ainsi, les techniques identifiées dans un *arbre fonctionnel 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 outils de capitalisation de connaissances que nous avons produits ne sont pas encore implémentés dans GECO, mais les retours d'usage sur ces outils 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. Cette plateforme pourrait favoriser la production des outils de capitalisation en ligne, par différents acteurs dispersés dans le territoire et de manière asynchrone, ainsi que le libre partage des connaissances à tous. Les acteurs agricoles, constituant ainsi une communauté de producteurs et/ou d'utilisateurs de ces outils de capitalisation de connaissances, devraient s'accorder sur des valeurs et des règles de production et de partage des outils développés dans une plateforme en ligne.

Conclusion

La capitalisation des connaissances sur les pratiques innovantes, qui reposent sur les principes de l'agroécologie, est une activité en soi et à part entière. Elle consiste en l'identification des combinaisons de pratiques à partager, leur analyse en vue d'identifier et de formaliser les connaissances produites, à la fois scientifiques et issues de l'action. Les outils produits, une fois partagés, peuvent servir d'inspiration à d'autres acteurs dans d'autres situations. Pour cela, nous proposons trois formats d'outils pour soutenir les acteurs engagés dans des activités, liées à la fois à la reconception de systèmes qui tendent vers l'agroécologie et à la capitalisation des connaissances. Ces outils ont pour objectifs d'être génératifs c'est-à-dire de favoriser l'exploration des solutions dans la conception, génériques et évolutifs. Ils reposent sur des liens spécifiques entre des connaissances. Le partage des types d'outil existants en préalable permettra à chaque participant de se les approprier, pour mieux les utiliser et guidera in fine la capitalisation des objets. Nous montrons que l'activité de capitalisation des connaissances bénéficie des échanges entre des acteurs dispersés dans le territoire et dans les organismes. Nous proposons en perspective de développer et soutenir le développement d'un dispositif ouvert de capitalisation collective nécessitant un travail d'animation pour transformer les informations discutées en connaissances partagées et validées, dans une plateforme en ligne.

¹ RMT Champs & Territoires ateliers

² DECILEG Capitalisation de règles de décision pour les systèmes de culture légumiers, FORCOCO Formalisation des Connaissances pour la Conception de systèmes de culture économes en produits phytosanitaires

Remerciements

Nous remercions tous les participants aux ateliers dans les trois cas d'études : les agriculteurs, Sarah PASCAL (CRA Normandie, Antenne des Andelys), Caroline FOURNIAL (SAEPA du Bray Sud), Bertrand OMON (CA de l'Eure), Marine GRATECAP (SERPN), Bastien PAIX (GAB Ile-de-France), Antoine STOFFEL (Bio Hauts-de-France), Thibault LEFEUVRE et Gilles GRANDEAU (INRAE UMR Agronomie), Antoine VILLARD (CA de Saône et Loire), Eric BIZOT (CA de l'Yonne) et Louis GABAUD (CA de l'Yonne). Nous remercions également les acteurs qui ont participé aux tests réalisés dans d'autres situations qui ne sont pas présentés dans cet article : Gabriele FORTINO, Marie-Christine FORT-LEGRAND et Caroline TOSTAIN (CRA Normandie), Anicé ANGER et Claire CROS (AGT-RT). Enfin, nous remercions les deux relecteurs.

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet ForCoCo – Formalisation des Connaissances pour la Conception de systèmes de culture économes en produits phytosanitaires, financé par l'Office Français de la Biodiversité (OFB) dans le cadre du Plan Ecophyto II (2018-2020), et du programme CASDAR ARPIDA CAP'Systèmes – Quelles conditions réunir pour concilier résilience et bas intrants en Bourgogne – Franche-Comté <https://bourgognefranche-comte.chambres-agriculture.fr/recherche-innovation/recherche-developpement-innovation/presentation-capsystemes/>.

Références

- 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>
- Bonnardel, N., 2000. Towards understanding and supporting creativity in design: analogies in a constrained cognitive environment 9.
- 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>
- Cerf, M., Guillot, M.-N., Olry, P., Omon, B., Petit, M.-S., 2016. Renouveler la place du conseiller dans la production de savoirs agronomiques d'action : le rôle de dispositifs d'échange sur le métier. *Agriculture, Environnement & Sociétés* 6.
- Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., Meynard, J.-M., 2012. Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 899–910. <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0091-z>
- Doré, T., Makowski, D., Malézieux, E., Munier-Jolain, N., Tchamitchian, M., Tiftonell, P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy* 34, 197–210. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.006>
- 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>
- 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>
- 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>
- Guichard, L., Ballot, R., Halska, J., Lambert, E., Meynard, J.M., Minette, S., Petit, M.S., Reau, R., Soullignac, V., 2015. AgroPEPS, a collaborative web tool of knowledge management to Share,

- Practice, Inform on sustainable cropping systems. *Innovations Agronomiques* 43, 83–94.
- Guillier, M., Cros, C., Reau, R., 2020. AUTO'N -Améliorer l'autonomie azotée des systèmes de culture en Champagne crayeuse. *Innovations Agronomiques* 79, 193–212.
- 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>
- Havard, M., Alaphilippe, A., Deytieux, V., Estrogues, V., Labeyrie, B., Lafond, D., Meynard, J.M., Petit, M.S., Plénet, D., Picault, S., Tchamitchian, M., Faloya, V., 2017. Guide de l'expérimentateur système: concevoir, conduire et valoriser une expérimentation système pour les cultures assolées et pérennes 173.
- Lançon, J., Reau, R., Cariolle, M., Munier-Jolain, N., Omon, B., Petit, M.-S., Viaux, P., Wery, J., 2008. Élaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants, in: *Systèmes de culture innovants et durables, Transversales*. Éducagri éditions, Dijon cedex, pp. 91–107. <https://doi.org/10.3917/edagri.reau.2008.01.0091>
- Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A., 2017. Designing in an Innovative Design Regime—Introduction to C-K Design Theory, in: Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A. (Eds.), *Design Theory: Methods and Organization for Innovation*. Springer International Publishing, Cham, pp. 125–185. https://doi.org/10.1007/978-3-319-50277-9_4
- Leclère, M., Jeuffroy, M.-H., Loyce, C., 2021. L'atelier de conception, un outil prometteur pour accompagner l'introduction d'espèces de diversification dans les territoires : exemple de la cameline dans le nord de la France pour approvisionner une bioraffinerie oléagineuse locale. *OCL* 28, 40. <https://doi.org/10.1051/ocl/2021023>
- Meynard, J.-M., Dedieu, B., 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
- 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>
- 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.
- 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>
- Quinio, M., 2021. 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.
- Reau, R., Cerf, M., Cros, C., Ferrané, C., Geleon, M., Lefèvre, V., Pasquier, C., Petit, M.-S., Schaub, A., 2018. Ateliers de conception de Systèmes de culture. Guide pour leur réalisation avec des agriculteurs.
- 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., 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.

Salembier, C., Segrestin, B., Weil, B., Jeuffroy, M.-H., Cadoux, S., Cros, C., Favrelière, E., Fontaine, L., Gimaret, M., Noilhan, C., 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. *Agronomy for Sustainable Development*.

Schaub, A., Toupet, A.-L., Deytieux, V., Toqué, C., Petit, M.-S., Cadoux, S., Minette, S., Vivier, C., Geleon, M., Massot, P., Fonteny, C., Reau, R., 2016. Guide méthodologique. Décrire un système de culture expérimenté pour aider à son pilotage, faciliter son analyse et communiquer.

Soullignac, 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.

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., 2016. L'activité de re-conception d'un système de culture par l'agriculteur : implications pour la production de connaissances en agronomie. *Agronomie, Environnement & Sociétés* 6, 193–201.

Trouche, L., Aubin, S., Soullignac, 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.

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., 2009. Design: one, but in different forms. *Design Studies* 30, 187–223. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.11.004>



Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons 2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.