

Conception et évaluation ex ante de systèmes de culture innovants pour améliorer le fonctionnement des sols en agriculture biologique

Vincent Lefevre, Mathieu Capitaine, Josephine Peigné, Jean Roger-Estrade

▶ **To cite this version:**

Vincent Lefevre, Mathieu Capitaine, Josephine Peigné, Jean Roger-Estrade. Conception et évaluation ex ante de systèmes de culture innovants pour améliorer le fonctionnement des sols en agriculture biologique. Innovations Agronomiques, 2013, 32, pp.47-60. hal-04090469

HAL Id: hal-04090469
https://isara.hal.science/hal-04090469

Submitted on 5 May 2023

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.

Conception et évaluation ex ante de systèmes de culture innovants pour améliorer le fonctionnement des sols en agriculture biologique

Lefèvre V.[1,2], Capitaine M.[2], Peigné J.[1], Roger-Estrade J.[3]

[1] ISARA Lyon, 23 rue Jean Baldassini, F-69364 Lyon cedex 7

[2] VetAgroSup, Clermont Université, UMR 1273 Métafort, AgroParisTech, Inra, Irstea, VetAgroSup, F-63370 Lempdes

[3] AgroParisTech, INRA, UMR 211 Agronomie, 16 rue Claude Bernard, F-75005 Paris

Correspondance : lefevrev@yahoo.fr

Résumé

La production agricole biologique est appelée à faire face à une demande croissante tout en assurant le respect de l'environnement. Dans ce cadre, Il est essentiel de faire évoluer les pratiques pour favoriser le fonctionnement biologique des sols. La réduction de la perturbation mécanique du sol et le maintien d'un couvert à sa surface sont deux pistes prometteuses. Pour adapter ces nouvelles combinaisons de pratiques en AB, il est nécessaire de repenser les systèmes de culture dans leur ensemble. Nous présentons une méthode pour accompagner les agriculteurs dans la conception de prototypes de système de culture favorisant le fonctionnement biologique des sols. La méthode comporte huit étapes impliquant trois ateliers de conception (de la rupture à la contextualisation). Elle a été mise en œuvre avec deux groupes d'agriculteurs en Auvergne et Rhône-Alpes.28 prototypes ont été conçus. Seuls les prototypes les plus aboutis sont ici analysés. Ils se différencient des systèmes actuels par un recours quatre fois plus important aux couverts végétaux et huit fois moins fréquent au labour. La diversité des connaissances des acteurs et l'appui méthodologique a favorisé la créativité des agriculteurs et initié l'appropriation des nouveautés. La mise en place d'expérimentation est maintenant requise pour évaluer les performances des systèmes innovants.

Mots-clés : conception innovante *de novo*,agriculteurs, techniques culturales sans labour, couverts végétaux, MASC2.0

Abstract: Co-designing innovative cropping systems to improve soil functioning in organic farming

Organic agriculture is called upon to raise production to meet growing demand all the while ensuring the respect of the environment. In this context, improving the soil biological activity is crucial. Farmers are taking great interest in agroecological practices, such as conservation tillage associated with soil cover crops. The inclusion of these practices into current organic crop management systems calls for profound changes in the whole system.In this paper, we present aeight steps method to help farmers designing innovative prototypes of cropping systems. The method involves three design workshops, starting with a given decontextualized situation, before progressively integrating farmers' constraints. The method was run with two groups of six and seven farmers respectively in two different regions of France.Of the 28 completed prototypes designed, we present here only the seven most detailed. They differ greatly from current cropping systems in their increased use of cover crops (four times more frequent) and greatly decreased reliance on deep soil tillage (mouldboard plowing was eight times less frequent). Farmers initiated the adoption of these innovations by anticipating technical and pedoclimatic constraints. The method, involving researchers and farmers, produced conditions thatencouraged the famers to act

creatively. Further studies in the form of *ex post* trials are necessary to accurately assess the consequences of such innovative cropping systems on soil functioning and crop performance.

Keywords: *de novo* innovative design, farmers, participation, conservation tillage, cover crops, MASC2.0

1. Introduction

Face à une demande croissante des produits agricoles biologiques, de nouvelles voies sont recherchées pour améliorer la productivité de ces systèmes sans nuire à l'autonomie financière des exploitations agricoles ni à la préservation de l'environnement. Sans produit chimique de synthèse, la productivité et la pérennité des systèmes biologiques reposent avant tout sur le fonctionnement des sols, qui fournit les éléments nutritifs indispensables au développement des cultures. Aujourd'hui, la capacité des systèmes biologiques à garantir la fertilité des sols à long terme est questionnée par (i) l'usage intensif du travail du sol, intervenant dans la maîtrise des adventices, et (ii) la spécialisation des systèmes de production biologique sans élevage (*i.e*., sans source de matière organique d'origine animale). Il est donc essentiel de faire évoluer les pratiques en AB pour favoriser le fonctionnement biologique des sols. Dans ce cadre, les techniques culturales sans labour et la mise en place de couverts végétaux suscitent un intérêt croissant chez les acteurs de l'agriculture biologique. En effet, ces pratiques, combinées entre elles, améliorent le taux de matière organique et favorisent les régulations biogéochimiques (cycles des éléments) et la biodiversité, tout en réduisant le temps de travail et les consommations de fioul (Altieri, 1999 ; Holland, 2004 ; Hobbs *et al.*, 2008).

Cependant, l'intégration de ces pratiques dans les systèmes biologiques actuels nécessite des changements profonds, notamment dans la gestion des adventices, de la fertilisation et des résidus de culture (Peigné *et al*., 2007). Ces changements invitent à repenser les systèmes de culture actuels dans leur ensemble. Cela n'est possible qu'en changeant de paradigme dans la manière même de pratiquer la recherche agronomique (Hill et MacRae, 1996 ; Forster *et al.*, 2013). En effet, le processus d'innovation incrémentale, basé sur un modèle technologique qui consiste à développer une solution à chaque problème identifié, a montré ses limites (Meynard *et al*., 2012). De nouvelles approches ont émergé pour favoriser l'intégration d'innovations dans les systèmes agricoles (Vanloqueren et Baret, 2009; Darnhofer *et al.*, 2012). Celles-ci reposent majoritairement sur une vision systémique et la participation des agriculteurs. L'approche systémique permet de traiter des sujets complexes en s'intéressant aux composantes d'un système et à leurs interactions. Le participatif, par une confrontation des savoirs et expériences de chacun des acteurs impliqués, permet à la fois de résoudre des problèmes des praticiens et de générer des connaissances (Campbell et Salagrama, 2001 ; Sumberg *et al.*, 2003).

Ce papier s'inscrit dans ces approches, en cherchant à concevoir et évaluer des systèmes de culture agrobiologiques innovants capables d'améliorer le fonctionnement des sols. L'innovation faisant référence à la création d'une nouveauté et à son inscription dans le milieu professionnel (Hall *et al.*, 2005 ; Goulet *et al.*, 2008 ; Klerkx *et al.*, 2010), l'enjeu est à la fois d'explorer de nouvelles combinaisons de pratiques en agriculture biologique et d'intégrer les contraintes des agriculteurs. Nous présentons ici une méthode développée pour accompagner les agriculteurs dans la conception de prototypes de systèmes de culture innovants. Ces derniers reposent sur un ordonnancement cohérent de plusieurs éléments clés (choix des cultures et de leur ordre de succession, itinéraires techniques et règles de décisions planifiés) pour atteindre les objectifs recherchés dans un cadre de contraintes donné.

Explorer de nouvelles pratiques ou combinaisons de pratiques en rupture avec les systèmes de culture actuels appelle à une conception *de novo* (Le Gal *et al*., 2011 ; Meynard *et al.*, 2012). Aujourd'hui, les méthodes de conception *de novo* reposent sur l'utilisation de modèles (Dogliotti *et al.*, 2005) ou le

recours au prototypage à dire d'experts (Vereijken, 1997; Lançon *et al.*, 2007; Reau *et al.*, 2012). En revanche, considérer l'adoption des nouveautés par les agriculteurs invite à des méthodes de conception participative basées sur l'amélioration pas à pas des systèmes de culture existants (Cardoso *et a*l., 2001; Le Bellec *et al*., 2012).

La méthode de co-conception présentée ici a été réalisée pour répondre à ce double objectif, ce qui lui confère des spécificités relatives à la promotion de la créativité et la réflexivité des agriculteurs. D'un côté, il s'agit « d'aider les agriculteurs à sortir de leur monde habituel, à libérer leur pensée des schémas habituels, du poids des schémas habituels » (Darré, 2006). De l'autre, il s'agit de faciliter l'intégration des nouveautés dans les situations des agriculteurs en appréhendant les contraintes locales.

Ce travail a été mis en œuvre avec deux groupes d'agriculteurs de Rhône-Alpes et d'Auvergne. Nous détaillons tout d'abord les caractéristiques des huit étapes de la méthode. Ensuite, nous présentons une partie des prototypes conçus par les agriculteurs en soulignant leur caractère innovant. Enfin, nous discutons ce caractère innovant au regard de la méthode et des outils proposés.

2. Matériels et méthodes

La méthode a été mise en œuvre en parallèle en régions Auvergne et Rhône-Alpes avec respectivement sept et six agriculteurs volontaires. L'ensemble des agriculteurs produisait des céréales dans un système ayant une disponibilité en matière organique plus ou moins grande (grandes cultures spécialisée *vs*. polyculture-élevage).

Les prototypes de systèmes de culture ont été conçus par les agriculteurs lors de plusieurs ateliers de conception. Chaque groupe était constitué d'agriculteurs différant par leur âge, leur type de production, leur ancienneté en agriculture biologique (en conversion *vs*. agriculteurs biologiques « historiques ») et leur expérience en pratiques innovantes. Trois chercheurs, spécialisés en agriculture biologique, en sciences du sol et en agronomie des systèmes techniques, ont accompagné le travail de conception. Un chercheur était en charge de l'animation des réunions. L'accompagnement étroit a été mis en place pour (i) explorer de nouvelles idées et (ii) appréhender l'adoption de ces nouveautés par les agriculteurs.

La méthode a été développée en 8 étapes pour favoriser les processus d'innovation (Hall *et al.*, 2003 ; Sumberg *et al.*, 2003 ; Klerkx *et al.*, 2012). Une première phase a été mise en œuvre pour satisfaire le sens premier de l'innovation, celui de la recherche de nouveautés par rapport à l'existant. Pour cela, une rupture avec les situations existantes a été recherchée. Une seconde phase a été développée pour favoriser l'adoption des nouveautés par les praticiens. Dans cette phase, correspondant à la deuxième acception du concept d'innovation, un retour aux situations réelles des agriculteurs a été recherché.

2.1 Etape 1 : Recherche d'agriculteurs volontaires

La première étape consistait à rechercher des agriculteurs intéressés par les thématiques de préservation des sols. L'objectif était de recueillir une diversité de profils d'agriculteurs pour construire un groupe hétérogène en termes de connaissances et d'expériences. Après une discussion téléphonique et l'envoi d'une brochure synthétique, une rencontre individuelle a été organisée pour initier un premier contact et échanger sur le projet.

2.2 Etape 2 : Institutionnalisation du projet

La seconde étape avait pour but d'initier la cohésion du groupe et de clarifier le fonctionnement du partenariat entre agriculteurs et chercheurs (rôles de chacun, planning de travail, périodes disponibles…). Des outils d'animation spécifiques ont été mobilisés pour favoriser les échanges. C'est le cas des « Ice breackers », activités courtes et distrayantes, qui ont été utilisés pour stimuler le groupe et faire connaissance. Par exemple, il a été demandé à chacun des participants (agriculteur et

chercheur) de présenter au groupe des informations personnelles (centre d'intérêts, dates d'événements publics faisant écho à un souvenir personnel important) et professionnelles (date du premier contact avec l'agriculture, date de début d'activité, choix de ce métier). Dans un souci de prise de distance avec le quotidien des agriculteurs, l'objectif de ces outils était de parler de l'individu plutôt que de son exploitation agricole.

Suite à cette réunion, il a été proposé à l'ensemble des participants de réfléchir et de valider ou non leur engagement dans la suite du travail.

2.3 Etape 3 : Identification des objectifs

L'étape 3 consistait à identifier un ensemble exhaustif d'objectifs que souhaitent atteindre les participants vis à vis des futurs prototypes de systèmes de culture. La méthode du métaplan a été mobilisée pour identifier, mettre en commun et sélectionner les objectifs. Le métaplan a été réalisé en trois temps. Dans un premier temps, chaque participant a fait individuellement un brainstorming des objectifs attendus. Ensuite, chacun a écrit ses objectifs sur des cartes de telle manière à obtenir une idée par carte. Enfin, une synthèse collective a été réalisée. L'animateur a fixé chaque carte sur un tableau et, en échangeant avec les participants, a organisé les cartes selon les thématiques (agronomique, environnementale, sociale, économique).

2.4 Etape 4 : Conception exploratoire de prototypes

Cette étape avait pour but de concevoir des prototypes de système de culture capables de répondre, *a priori*, aux objectifs recherchés. Les thématiques des objectifs identifiés dans l'étape précédente étant très larges, dans ce premier atelier de conception, la priorité a été donnée aux objectifs relatifs à la fertilité des sols. Un accompagnement méthodologique spécifique a été réalisé afin de (i) permettre aux participants de prendre de la distance avec leurs propres activités et ainsi de favoriser leur créativité. Pour cela, il a été proposé aux agriculteurs de concevoir les prototypes en binôme dans une situation « idéale », où les facteurs techniques, pédoclimatiques et socio-économiques étaient tous à l'optimum. A plusieurs reprises, l'animateur encourageait les agriculteurs à la prise de risque en rappelant (i) que toutes les idées étaient permises, (ii) qu'aucun jugement ne serait porté par les autres participants, (iii) qu'il était important de se faire plaisir et d'être créatif. Les prototypes ont été décrits sur des tableaux (choix des cultures, des itinéraires techniques et argumentation sur les choix réalisés) pour formaliser et clarifier les choix réalisés.

2.5 Etape 5 : Evaluation par expertise des prototypes conçus

L'étape 5 consistait en une première étape d'évaluation des prototypes. Le but était de vérifier, au regard de l'expertise du groupe, si les prototypes étaient, *a priori*, prometteurs vis-à-vis des objectifs recherchés. Pour cela, chaque binôme a présenté son prototype au groupe et les forces et faiblesses des prototypes ont été discutées. Une synthèse collective a ensuite été produite pour identifier (i) les principales contraintes techniques à la mise en place des prototypes et (ii) les questions à approfondir dans la suite du processus de conception.

2.6 Etape 6 : Partager des expériences et connaissances innovantes existantes

En alimentant la réflexion collective et individuelle, cette étape avait pour objectif de trouver des réponses ou des solutions aux questions posées et aux contraintes techniques identifiées lors de l'étape précédente. Pour cela, un état de l'art a été réalisé sur les pratiques agroécologiques étudiées. Celui-ci a été basé sur une bibliographie scientifique internationale, l'analyse de données expérimentales en France (Peigné *et al.*, 2009 ; Amossé *et al.*, 2013a ; Amossé *et al.*, 2013b) et un recueil d'expériences d'agriculteurs biologiques considérés, par leurs pairs ou par des conseillers,

comme « pionniers[1] » (Lefèvre *et al*., 2012). Pour partager ces connaissances, de nombreux supports papiers ont été réalisés. De plus, deux journées techniques ont été organisées combinant théorie (intervention de chercheurs en sciences du sol sur les pratiques agroécologiques et leur influence sur le fonctionnement des sols) et pratique (visite d'essai, témoignage d'agriculteur).

2.7 Etape 7 : Conceptions de prototypes considérant les contraintes locales

Dans cette étape, il s'agissait de faire un retour à la réalité en prenant en compte le contexte des agriculteurs, défini principalement par des facteurs techniques et pédoclimatiques donnés. Après l'atelier de conception exploratoire, cette étape a donné lieu à deux nouveaux ateliers de conception.

Le second atelier de conception (Etape 7a) a été réalisé collectivement sous forme d'un jeu, inspiré du jeu du cadavre exquis. Originellement, ce jeu est utilisé en littérature. Il s'agit d'écrire une phrase à plusieurs personnes alors que chaque partie précédente de la phrase est inconnue de l'auteur qui doit la compléter. Dans notre adaptation, nous avons retenu le caractère collectif du jeu. Tout d'abord, chaque agriculteur a présenté à ses pairs le contexte de son exploitation et rappelé les objectifs recherchés (ceux issus de l'étape 3). Ensuite, chaque agriculteur, à tour de rôle, a proposé le contenu d'une campagne culturale en tenant compte du contexte et des campagnes culturales précédentes. En faisant l'exercice sur sept campagnes culturales, un prototype de système de culture a été construit pour chaque situation. Enfin, les agriculteurs devaient faire une analyse critique du prototype construit collectivement sur leur situation. Ce travail avait pour objectif de (i) créer une logique collective à partir de pilotages individuels de chaque campagne culturale, et de (ii) favoriser la créativité (faire des propositions dans une situation inattendue, celle de son voisin) et le croisement des réflexions (se mettre à la place de son voisin).

Le troisième atelier de conception de la méthode (Etape 7b) a été réalisé par les agriculteurs en dehors du groupe de travail (i.e., sans la présence des chercheurs ni de leur pairs). En s'inspirant des étapes précédentes, chaque agriculteur a conçu le prototype de système de culture qu'il serait prêt à mettre en place dans sa propre condition locale. L'objectif était d'obtenir un prototype abouti qui soit très détaillé, incluant l'ensemble des modalités techniques et des règles de décisions.

2.8. Etape 8 : Evaluation ex ante des prototypes aboutis

Cette étape consistait à évaluer les prototypes finaux afin de vérifier leur adéquation avec les objectifs visés. Les chercheurs ont mobilisé l'outil d'évaluation multicritère MASC2.0 (Sadok *et al.*, 2009; Craheix *et al.*, 2012). Cet outil permet d'évaluer qualitativement des prototypes de systèmes de culture innovants au regard de la durabilité. Il est originellement utilisé pour faire un tri entre les systèmes de culture évalués (identifier les plus prometteurs grâce à l'arborescence Dexi (Bohanec *et al.*, 2008)). Dans notre étude, nous avons utilisé une partie des fonctions de l'outil MASC2.0. Nous avons en effet seulement mobilisé la fonction de MASC2.0 relative à l'estimation de performances sur les critères capables de traduire nos objectifs. Ces critères sont renseignés par des indicateurs qui sont calculés par des modèles existants, des variables quantitatives, de l'expertise ou des arbres satellites (Craheix *et al.*, 2012). Par ailleurs, cet outil est capable d'évaluer *ex ante* des prototypes de systèmes de culture. En effet, il est fondé sur une description des pratiques culturales ce qui permet d'obtenir des performances sur des critères pour lesquels des informations quantitatives (mesures ou observations de terrain) ne sont pas disponibles. Les résultats de l'évaluation ont été présentés aux agriculteurs, ce qui a conduit à revoir les prototypes pour 'corriger' des effets mis en évidence par le modèle. Ils ont aussi permis de discuter des points en suspens, nécessitant une évaluation sur le terrain.

[1] Ce terme désigne des agriculteurs qui sont « avancés » dans la mise en œuvre de nouvelles pratiques ou combinaisons de pratiques répondant à un enjeu de préservation des sols

3. Résultats

La démarche de conception s'est déroulée de Mars 2011 à Juin 2012.

Quatre objectifs généraux ont été assignés aux prototypes lors de l'étape 3: améliorer la fertilité des sols, maîtriser la production, ne pas impacter les marges économiques et réduire le temps de travail (Tableau 1, colonne objectifs). Les objectifs relatifs à l'amélioration de la fertilité des sols ont été priorisés puisqu'ils représentent l'enjeu majeur du projet. Ainsi, de nombreux sous-objectifs ont aussi été identifiés : améliorer le taux de matière organique, limiter l'appauvrissement en éléments minéraux, protéger et favoriser la biodiversité et l'activité biologique, obtenir une structure favorable, réduire les risques d'érosion (Tableau 1, colonne sous-objectifs).

Tableau 1 : Description des objectifs vises et des critères d'évaluation retenus

Objectifs		Sous-objectifs	Critères retenus (MASC2.0) (Craheix *et al.*, 2012)
Agro-environnementaux	Améliorer la fertilité des sols	Obtenir le taux optimum de MO	Maîtrise du statutorganique
		Limiter l'appauvrissement en éléments	Maîtrise de la fertilité P-K
		Protéger et favoriser la biodiversité et l'activité biologique	Macrofaune du sol
			Micro-organismes
		Obtenirune structure favorable	Maîtrise de l'état structural
		Réduire les risquesd'érosion	Maîtrise de l'érosion
	Maîtriser la production	Maintenir les infestations d'adventices	Maîtrise des adventices
Socio-économiques	Ne pas impacter les marges économiques	Obtenir des marges suffisantes	Rentabilité (Marge semi-nette)
			Surcoût en matériels
		Réduire la dépendance à l'énergie	Consommation en énergie
	Optimiser le temps de travail	Gagner en efficacité	Temps de travail (nb h/ha)
		Gagner en confort de travail	Surcharge de travail

Les objectifs ainsi que leurs critères grisés ne sont pas présentés dans ce papier.

Sept prototypes ont été construits par binôme lors du premier atelier de conception (Etape 4). Sept prototypes ont été conçus collectivement lors du second atelier (Etape 7a). Enfin, quatorze prototypes aboutis ont été développés individuellement par les agriculteurs (un agriculteur a conçu deux prototypes) lors du dernier atelier (Etape 7b). Seuls sept de ces prototypes aboutis sont analysés ici. Nous avons en effet sélectionné les prototypes pour lesquels nous avions un système de culture de référence en agriculture biologique.Une comparaison entre les systèmes de culture de référence et les prototypes conçus permet d'identifier les nouveautés induites par la démarche de conception. Le système de référence correspond au système de culture pratiqué par l'agriculteur. Les autres prototypes ont été conçus par des agriculteurs en conversion à l'agriculture biologique. Pour ces derniers, aucun système de référence en agriculture biologique n'était donc connu.

3.1 Des prototypes de systèmes de culture innovants

3.1.1. Un large recours aux couverts végétaux, à la réduction du travail du sol et à la restitution des fauches de prairies temporaires

Les prototypes finaux comportent de nombreuses nouveautés par rapport au système actuel piloté par les agriculteurs (Tableau 2) : nouvelles cultures (comme le chanvre (prototype 2) et le haricot (prototype 6)), abandon de cultures à haute valeur ajoutée au profit de culture plus rustiques (prototype 7), ou nouvelles combinaisons de pratiques telles que le maintien d'un couvert vivant (prototype 4 et 7). En moyenne sur l'ensemble des prototypes, la fréquence du labour pour implanter chaque culture sur la succession culturale a chuté de 48 % à 5 %. L'utilisation du désherbage mécanique a aussi été largement réduite de 75 % à 37 % des cultures sur la succession. Inversement, le taux de couverture du sol par les couverts végétaux en interculture a grimpé de 25 % à 85 %. Enfin, la proportion des exportations de prairie temporaire est passée de 78 % à 50 %.

Tableau 2 : Caractéristiques des prototypes finaux conçus par rapport aux systèmes de culture pratiqués actuellement.

% Couverts végétaux : taux de recouvrement du sol par des couverts végétaux en interculture, calculé selon le ratio : somme des durées (en mois) de l'interculture où le sol est couvert / somme des durées (en mois) d'interculture sur la succession culturale. *% Labour* : fréquence d'utilisation du labour, calculée par le ratio : nombre d'implantations de cultures réalisées avec labour / nombre d'implantation de cultures sur la succession culturale. *% Des. mécan* : fréquence d'utilisation du désherbage mécanique (herse étrille, bineuse, houe), calculée par le ratio : nombre de cultures désherbées mécaniquement / nombre de cultures sur la succession culturale. *% Exportation prairies :* fréquence d'exportation des fauches de prairies temporaires, calculée par le ratio : nombre de fauches exportées / nombre de fauches réalisées sur la succession culturale.

a année *; AV* avoine ; *BT* blé tendre d'hiver ; *BT** variétés anciennes de blé tendre d'hiver ; *CH* chanvre ; *DA* dactyle ; *EP* épeautre ; *FE* féverole ; *HA* haricot ; *LI* lin ; *LU* luzerne ; *MA* maïs ; *OH* orge d'hiver ; *OP* orge de printemps *; PO* pois ; *SE* seigle ; *SO* soja ; *TB* trèfle blanc *; TO* tournesol ; *TR* triticale ; *VE* vesce

Prot	Succession culturale du prototype et *du système de culture actuel*	% Couverts Végétaux	% Labour	% Dés. méca.	% Exportation prairies	Stratégie
1	*Actuel : 2a LU-BT-EP-(SE+PO)-TO-EP-VE-BT-OH*	*10*	*60*	*80*	*100*	
	Prototype : 2a LU-BT-EP-TO-EP-(SE+VE)-BT-OH	60	15	75	75	
2	*Actuel : 4a (LU+DA)-BT-TR-SE-OP*	*30*	*80*	*80*	*100*	Travail du sol réduit
	Prototype :5a (LU-DA)-BT-TR-(FE+SE)-CH-BT-(TR+PO)-OP	70	25	25	100	
3	*Actuel: 3a LU-BT-SO-TR-AV-FE-TO-BT-PO-OH*	*30*	*0*	*90*	*100*	
	Prototype : 3a LU-MA-OH-(OP+PO)-BT-TR-SO-AV-EP	60	0	65	100	
4	*Actuel : 2a LU-BT-TO-SO-BT-MA*	*20*	*70*	*80*	*75*	
	Prototype : TB-TB+(BT-MA-BT-TO)	100	0	80	0	
5	*Actuel :4a (LU+DA)-MA-MA-OH-(TR+AV+PO)*	*10*	*60*	*80*	*100*	Couverture systématique du sol
	Prototype : 4a (LU+DA)-(MA+TB)-(TR+AV+PO+TB)-(MA+TB)-(SE+PO)	100	0	10	75	
6	*Actuel : 3a LU-EP-AV-TO-FE-EP-AV*	*50*	*0*	*40*	*0*	
	Prototype : 3a LU-(EP+LU)-LI-TO-EP-HA-EP-AV	100	0	10	0	
7	*Actuel : 2a LU-BT-TO-SO-BT-MA*	*20*	*70*	*80*	*75*	
	Prototype : LU-LU+(BT*-TR-SE-BT*)	100	0	0	0	

Sur l'ensemble des prototypes, deux grandes stratégies peuvent être distinguées.

Les prototypes 1 à 3 répondent à une stratégie que l'on a qualifiée de « Travail du sol réduit ». Cette stratégie est basée sur un recours au travail du sol superficiel et profond sans retournement, et l'utilisation fréquente de couverts végétaux en interculture (notamment en interculture longue). En moyenne, la durée des successions de culture est de onze ans. Sur cette période, le labour n'est en moyenne mobilisé qu'une seule fois pour implanter une culture en fin de rotation. Le désherbage mécanique est maintenu fréquemment et les exportations des fauches de prairies temporaires sont fréquentes voire systématiques.

Les prototypes 4 à 7 ressortent d'une stratégie de « Couverture permanente du sol ». Ces prototypes intègrent des changements plus profonds du système de culture en (i) maintenant systématiquement une couverture végétale à la surface du sol par des couverts en interculture ou des couverts pluriannuels, (ii) réduisant fortement le travail du sol (avec abandon total du labour et réduction du désherbage mécanique), (iii) restituant largement les coupes de prairie temporaires au sol. Les pratiques de travail du sol mobilisées dans ces quatre prototypes sont plus variables que la stratégie précédente. Le prototype 4 a recours au strip-till (outil spécifique qui permet de localiser le travail du sol sur la ligne de semis) pour implanter l'ensemble des cultures dans un couvert permanent de trèfle blanc. Les prototypes 5 et 6 mobilisent majoritairement le semis direct dans un couvert végétal gélif. Le prototype 7 consiste à semer à la volée les cultures rustiques (variétés anciennes de blé notamment) dans un couvert de luzerne pure.

Les prototypes de systèmes de culture 4 et 7 ont été conçus par le même agriculteur et sont basés sur le maintien d'un couvert permanent tout au long de la succession culturale.

3.1.2. Une prise en compte des contraintes techniques et pédoclimatiques

Lors de l'étape 5, deux contraintes techniques majeures, relatives à l'intégration des innovations agroécologiques étudiées, ont été identifiées par les agriculteurs : la gestion des adventices et la gestion de la compétition entre cultures de vente et couverts végétaux (ou repousses). Dans la suite du processus de conception, les agriculteurs ont recherché des leviers pour lever ces contraintes. Pour maîtriser les adventices, les agriculteurs concepteurs des prototypes 1 à 3, ont eu recours au travail du sol (faux-semis, désherbage mécanique, labour occasionnel) et aux fauches de prairies temporaires. Les prototypes 4 à 7 ont intégré quasi-exclusivement des régulations biologiques (maintien d'un couvert vivant, choix de cultures ou couvert à pouvoir concurrentiel fort, retour des prairies temporaires plus fréquent) excepté le prototype 4 qui mobilise aussi du désherbage mécanique. Concernant la gestion de la compétition, les prototypes 1 à 3 détruisent des couverts végétaux avant implantation de la culture de vente par le travail du sol. Les prototypes 4 à 7 ont recours à un travail du sol localisé (strip-till ou semis direct), à des couverts végétaux gélifs, à des couverts pluriannuels peu concurrentiels (trèfle blanc nain) ou à des cultures plus vigoureuses et rustiques (blés anciens, triticale, seigle).

Des contraintes pédoclimatiques ont aussi été considérées par les agriculteurs lors des étapes 7a et 7b. C'est majoritairement le cas du manque d'humidité en été pour assurer la levée des couverts végétaux et du risque de tassement des sols (lors de la destruction de couvert ou de récoltes en période d'excès d'eau, en relation avec la faible capacité de restructuration naturelle de certains sols à faible teneur en argile). Les solutions proposées par les agriculteurs pour lever ces contraintes reposent sur des semis de couverts à des périodes plus clémentes (semis en relais dans les céréales au printemps), le choix de cultures et de variétés précoces pour les récoltes automnales (réduction du risque de compaction), le recours occasionnel à un travail du sol profond et/ou à des espèces à système racinaire pivotant (luzerne par exemple).

Ainsi, via la réflexion anticipée de solutions aux contraintes techniques et pédoclimatiques, la démarche de conception a permis de prendre en compte un premier niveau de conditions à satisfaire vis-à-vis des processus d'adoption d'innovations.

3.2. Les performances ex ante des prototypes de systèmes de culture conçus

L'adéquation des prototypes aux objectifs visés constitue un second niveau de conditions à satisfaire. La Figure 1 présente les résultats de l'évaluation *ex ante*, réalisée avec l'outil MASC2.0.

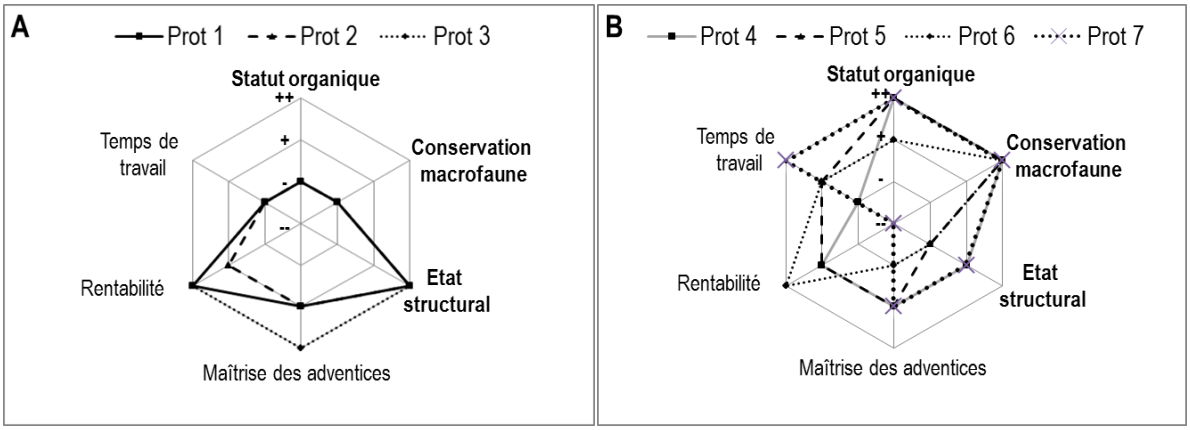
Les prototypes 1 à 3, appartenant à la stratégie « Travail du sol réduit », présentent globalement des performances moyennes à élevées. Au niveau des critères relatifs à la fertilité des sols, traduisant les objectifs prioritaires de la conception, les faiblesses se situent sur la qualité biologique et chimique des

sols : les critères de matière organique et de conservation de la macrofaune ont des notes « très faible » à « faible à moyen » en raison d'un bilan négatif en matière organique (les apports organiques ne compensent pas les exportations des cultures et prairies temporaires) et de l'utilisation d'un labour. Au niveau socio-économique, cette stratégie est exigeante en temps de travail en raison d'un recours régulier au désherbage mécanique, au travail du sol pour préparer les semis et aux travaux de fenaison. En revanche, ces systèmes ont des notes élevées à très élevées pour la maîtrise des adventices (périodes de semis diversifiées, présence du labour et du désherbage mécanique), l'état structural du sol (sol peu sensible au tassement, présence du labour ou du travail du sol profond) et la rentabilité (rendements estimés comparables, voire légèrement inférieurs, à ceux obtenus en labour).

Les prototypes 4 à 7, formant la stratégie « Couverture permanente du sol », ont des notes disparates qui sont globalement plus élevées que les notes de la stratégie précédente sur les indicateurs de la fertilité des sols (notamment pour le statut organique et la conservation de la macrofaune). Cela s'explique en grande partie par la réduction de la perturbation des sols (abandon du labour voire de tout travail de sol) et un approvisionnement « naturel » élevé en matière organique. Celle-ci se traduit par la restitution de l'ensemble de la biomasse végétale produite : couverts végétaux en interculture, prairie temporaire et cultures, excepté les grains vendus. En revanche, ces prototypes possèdent certaines limites. Le prototype 4, basé sur l'utilisation systématique du strip-till, combiné à de nombreux désherbages mécaniques au plus proche du rang, a une note faible à moyenne en temps de travail. Les prototypes 5 et 6, basés sur la quasi-absence de travail du sol, affichent des faiblesses sur le « contrôle des adventices » et la « structure des sols ». Enfin, le prototype 7, basé sur l'absence systématique de travail du sol et le maintien d'un couvert pluriannuel, est largement déficient sur l'indicateur « rentabilité économique ». Même si ce système dégage les plus faibles charges opérationnelles, les très faibles rendements estimés des cultures (prise en compte des difficultés de levée des cultures et de la compétition du couvert permanent pour la lumière et l'eau), combinés à la non vente de foin et à la faible valeur ajoutée des cultures (céréales secondaires), entraînent une très faible marge semi-net.

Figure 1: Principales performances agronomiques et socio-économiques obtenues pour les prototypes finaux appartenant aux stratégies « Travail du sol réduit » (A) et « Couverture systématique du sol » (B).

Critères de fertilité des sols (en gras) : statut organique, conservation de la macrofaune et état structural. Critère agronomique : maitrise des adventices. Critères socio-économiques : rentabilité et temps de travail. Plus l'aire est grande, meilleure est la performance du système de culture. **--** note "très faible" ; **-** note "faible à moyenne" ; **+** note "moyenne à élevée" ; **++** note "très élevée ".



L'échange au sein du groupe sur les résultats de l'évaluation *ex ante* a permis de confronter les estimations des performances, données par l'outil à l'expertise des membres du groupe. Les résultats ont globalement conforté les avis des agriculteurs à quelques exceptions près. C'est le cas de l'impact

des exportations fréquentes des fauches de prairies temporaires sur la qualité biologique et chimique des sols qui avait été sous-estimé par les agriculteurs. Ainsi, certains agriculteurs ont proposé de réduire les exportations de prairies temporaires ou de les compenser par des apports supplémentaires de matière organique fraîche.

L'évaluation *ex ante*, par l'identification des principales faiblesses des prototypes, a permis de souligner les défis importants restant à relever pour favoriser l'adoption de ces nouvelles combinaisons de pratiques.

4. Discussion

4.1. Les facteurs clés de la démarche permettant de favoriser l'innovation

4.1.1. L'exploration de la nouveauté

En règle générale, quand les chercheurs étudient l'intégration de changements radicaux dans les systèmes de culture, ils font appel au prototypage à dire d'experts (Vereijken, 1997; Lançon *et al.*, 2007) ou à la conception assistée par modèles (Dogliotti *et al*., 2005). A la différence de ces méthodes, notre travail a favorisé l'exploration de nouveautés en mettant les agriculteurs dans des conditions propices à la créativité collective et individuelle. Ces conditions ont été mises en œuvre grâce :

- A la recherche d'une prise de distance avec les situations réelles des agriculteurs.

Cela a notamment été fructueux lors des deux premiers ateliers de conception, réalisés dans une situation de rupture (étape 4) ou dans la situation d'un pair (étape 7a). De tels ateliers de travail sont rarement intégrés dans les méthodes de conception participative. Celles-ci reposent essentiellement sur une étape initiale de diagnostic des systèmes de culture pratiqués par les agriculteurs (Le Bellec *et al.*, 2012).

- A la dimension collective du travail.

Chaque agriculteur a pu confronter ses connaissances et expériences, voire ses convictions ou intuitions, avec ses pairs ou avec les chercheurs, créant ainsi une émulation. Dans ces processus d'émulation, particulièrement féconds lors des étapes 4, 6 et 7a, un rôle essentiel a été joué par des « meneurs du changement ». Dans chacun de nos groupes de travail, un agriculteur a été meneur du changement. En apportant une vision « atypique », ces agriculteurs ont apporté des idées nouvelles et ont permis de pousser dans leur retranchement les autres agriculteurs, les amenant à explorer davantage de possibles. Ce rôle de meneur du changement a également été tenu par un agriculteur, extérieur au groupe, qui est intervenu lors d'une des deux journées techniques (étape 6). Cet agriculteur, en échangeant sur son expérience de semis direct de blé dans une luzerne vivante, a ouvert le cadre de représentation des agriculteurs acteurs. L'importance des meneurs du changement dans un travail de conception a été souligné dans d'autres études (Reau *et al.*, 2012).

- Aux connaissances apportées par les chercheurs.

La création de fiches synthétiques sur les expériences atypiques testées en recherche et développement (semis direct, couverts végétaux,…), ou l'intervention de chercheurs dans les discussions ou les présentations de leurs travaux (semis de couverts végétaux en relais ou travail du sol en agriculture biologique) ont favorisé l'exploration de nouveautés par les agriculteurs.

4.1.2. L'adoption de la nouveauté

La méthode a permis aux agriculteurs d'anticiper l'adoption des nouveautés produites. En effet, au fur et à mesure de l'avancement du processus de conception, les agriculteurs se sont approprié les nouveautés en identifiant des contraintes, notamment pédoclimatiques et techniques, et en proposant

des solutions. Cela a été permis grâce aux conditions d'apprentissage proposées par la méthode. Ces conditions sont relatives :

- A la dimension collective du travail.

Les sources d'apprentissage sont liées (i) aux nombreux échanges entre les participants, à la fois entre les agriculteurs et les chercheurs mais aussi au sein du groupe d'agriculteurs, et (ii) à la forte complémentarité des compétences et connaissances des participants (diversité de « profils » d'agriculteurs et des domaines d'activité des chercheurs). Les agriculteurs ont mobilisé et valorisé leur expérience, leur compétence et leurs connaissances localisées, acquises dans leur travail quotidien, afin d'intégrer dans la conception les caractéristiques de leur contexte local et leurs contraintes techniques. Les chercheurs ont facilité les échanges grâce au travail d'animation. Ils sont aussi intervenus dans le processus de conception en apportant des connaissances nécessaires à l'appréhension des prototypes dans les conditions des agriculteurs (identification des contraintes d'innovations agroécologiques dans des essais expérimentaux ou chez des agriculteurs « pionniers », évaluation *ex ante* des prototypes de systèmes de culture).

- A la dynamique du processus de conception.

Celle-ci a été favorisée par (i) l'engagement d'agriculteurs volontaires et sensibles aux thématiques étudiées, (ii) la place importante laissée aux échanges, (iii) la durée du processus (neuf rencontres sur quatorze mois sous forme de réunions, visites collectives, entretiens individuels), et (iv) la diversité des outils mobilisés (animation, jeux de rôle, MASC2.0).

- Au caractère finalisé de l'objectif du travail de conception.

Les agriculteurs ont été impliqués dès le départ dans le projet de conception dans une perspective de mettre en place des essais chez eux. Cela peut expliquer le fait que les prototypes aboutis soient très détaillés et apparaissent « prêts à être testés ». D'ailleurs, certains agriculteurs sont rentrés spontanément dans la mise en place d'essais.

4.2. Limites de la méthode de conception et d'évaluation

La principale limite de notre méthode de co-conception/évaluation est relative à l'investissement demandé aux participants tout au long du travail. Il n'a pas été toujours évident de rendre compatible cet investissement en temps avec les disponibilités des agriculteurs. Par exemple, à deux reprises, seulement la moitié des agriculteurs étaient présents. Cela a pu affecter la dynamique de groupe et créer des « déceptions » pour les participants présents. Un effort important pour remobiliser les participants a alors été nécessaire pour retrouver une dynamique et permettre aux absents de se remettre à jour sur l'avancée du travail.

Pour les chercheurs, un tel partenariat est très exigeant en temps mais aussi en postures à tenir. Celles-ci requièrent de multiples rôles, méthodes, outils qui font appel à des compétences très variées (agronomie, sciences du sol, animation, analyse des réunions,…). La possibilité de pouvoir se reposer sur les compétences d'autres chercheurs ou « spécialistes » pour apportercertaines compétences est alors un besoin essentiel pour la réussite du projet.

La généricité des systèmes de culture identifiés dans ce travail est aussi questionnée. Les prototypes sont fortement spécifiques à la situation des agriculteurs concepteurs. Cette situation est caractérisée par le contexte pédoclimatique de chaque agriculteur mais aussi par ses traits personnels (ses objectifs, ses valeurs, sa perception, ses expériences passées,…). Par exemple, le prototype 7 a été conçu par un agriculteur dans un cadre très spécifique : sol sensible à l'érosion et parcelles situées sur des coteaux, doute sur la continuité de son activité agricole (recherche d'une activité principale hors agriculture, d'où une faible exigence quant aux conditions économiques et une forte exigence vis-à-vis

de la réduction du temps de travail). Il semble peu pertinent de proposer cette stratégie dans d'autres situations. Par ailleurs, l'adoption de systèmes de culture basés sur le maintien d'un couvert permanent (ou de couverts annuels systématiquement semés en interculture) pose question dans des situations où la disponibilité en eau est très limitée.

Enfin, l'évaluation de prototypes de systèmes de culture innovants présente des limites. Même si l'outil MASC2.0 présente l'avantage d'estimer qualitativement les performances *ex ante* de systèmes de culture, il reste fortement conditionné aux connaissances existantes. Les prototypes étudiés étant pour la plupart très exploratoires, certaines estimations se sont trouvées fragilisées par un manque de connaissance disponible. En effet, de nouvelles combinaisons de pratiques (*e.g.*, labour unique sur la succession, strip-till ou semis à la volée dans un couvert vivant) imposent de nouveaux équilibres dans les parcelles dont les mécanismes biologiques ou les performances techniques ne sont pas encore bien connus. C'est pourquoi il nous semble prudent de nuancer les résultats donnés par l'évaluation multicritère, et par conséquent, de valider les performances en conditions réelles.

Conclusion

Cette méthode de conception avec deux groupes d'agriculteurs en régions Auvergne et en Rhône-Alpes a permis d'élaborer 34 prototypes de systèmes de culture. La complémentarité des connaissances entre agriculteurs et chercheurs et l'accompagnement méthodologique ont favorisé la conception d'innovations et initié leur appropriation. Sur les 7 prototypes aboutis étudiés dans ce papier, deux stratégies de systèmes de culture ont été identifiées, caractérisées par de nouvelles combinaisons de pratiques agroécologiques : limitation ou abandon du labour et du désherbage mécanique, maintien d'un couvert végétal à la surface du sol en interculture ou permanent, restitution des fauches de prairies temporaires, choix de variétés ou cultures à fort pouvoir concurrentiel,…Une évaluation multicritère *ex ante* des prototypes co-conçus, a permis, à l'aide de l'outil MASC2.0, d'identifier leurs forces et leurs faiblesses et les défis à relever pour favoriser leur adoption.

Cette diversité de pratiques agroécologiques souligne qu'il est possible, en agriculture biologique, d'explorer de nouvelles voies vers la préservation de l'écosystème sol et l'amélioration de son fonctionnement qui soient envisageables par les agriculteurs. C'est particulièrement le cas de la stratégie « couverture du sol permanente » qui présente des performances agronomiques prometteuses. Cependant, ces nouvelles combinaisons de pratiques imposent de nouveaux équilibres dans les parcelles dont les mécanismes biologiques impliqués ne sont pas ou peu connus. Il convient désormais de mettre les prototypes en expérimentation. De tels travaux permettront ainsi (i) d'approfondir les connaissances sur les performances de tels systèmes innovants et sur les mécanismes biologiques impliqués, et (ii) d'étudier précisément les processus d'adoption de ces nouveautés.

Références bibliographiques

Altieri M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems & Environment 74, 19-31.

Amossé C., Jeuffroy M.-H., Celette F., David C., 2013a. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. European Journal of Agronomy 49, 158-167.

Amossé C., Jeuffroy M.-H., David C., 2013b. Relay intercropping of legume cover crops in organic winter wheat: Effects on performance and resource availability. Field Crops Research 145, 78-87.

Bohanec M., Messéan A., Scatasta S., Angevin F., Griffiths B., Krogh P.H., Žnidaršič M., Džeroski S., 2008. A qualitative multi-attribute model for economic and ecological assessment of genetically modified crops. Ecological Modelling 215, 247-261.

Campbell J., Salagrama V., 2001. New approaches to participation in fisheries research Report of the ad hoc Working Party on Participatory Research Methods. FAO, Rome.

Cardoso I.M., Guijt I., Franco F.S., Carvalho A.F., Ferreira Neto P.S., 2001. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. Agricultural Systems 69, 235-257.

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2012. MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. Innovations Agronomiques 20, 35-48.

Darnhofer I., Gibbon D., Dedieu B., 2012. Farming Systems Research: an approach to inquiry. In: Darnhofer I., Gibbon D., Dedieu B. (Eds.), Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. Springer Netherlands, pp. 3-31.

Darré J.P., 2006. La recherche coactive de solutions entre agents de développement et agriculteurs. Paris.

Dogliotti S., van Ittersum M.K., Rossing W.A.H., 2005. A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay. Agricultural Systems 86, 29-51.

Forster D., Adamtey N., Messmer M.M., Pfiffner L., Baker B., Huber B., Niggli U., 2013. Chapter 2 - Organic Agriculture—Driving Innovations in Crop Research. In: Gurbir, S.B., Navreet, K.B. (Eds.), Agricultural Sustainability. Academic Press, San Diego, pp. 21-46.

Goulet F., Pervanchon F., Conteau C., Cerf M., 2008. Les agriculteurs innovent par eux-mêmes pour leurs systèmes de culture. In: Reau, R., Doré, T. (Eds.), Systèmes de culture innovants et durables. Educagri Editions, Dijon, pp. 53-69.

Hall A., Mytelka L., Oyeyinka B., 2005. Innovation Systems: What's Involved for Agricultural Research Policy and Practice? ILAC Brief 2.

Hall A., Rasheed Sulaiman V., Clark N., Yoganand B., 2003. From measuring impact to learning institutional lessons: an innovation systems perspective on improving the management of international agricultural research. Agricultural Systems 78, 213-241.

Hill S.B., MacRae R.J., 1996. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. Journal of Sustainable Agriculture 7, 81-87.

Hobbs P.R., Sayre K., Gupta R., 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 363, 543-555.

Holland J.M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. Agriculture, Ecosystems & Environment 103, 1-25.

Klerkx L., Aarts N., Leeuwis C., 2010. Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. Agricultural Systems 103, 390-400.

Klerkx L., van Bommel S., Bos B., Holster H., Zwartkruis J.V., Aarts N., 2012. Design process outputs as boundary objects in agricultural innovation projects: Functions and limitations. Agricultural Systems 113, 39-49.

Lançon J., Wery J., Rapidel B., Angokaye M., Gérardeaux E., Gaborel C., Ballo D., Fadegnon B., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. Agron. Sustain. Dev. 27, 101-110.

Le Bellec F., Rajaud A., Ozier-Lafontaine H., Bockstaller C., Malezieux E., 2012. Evidence for farmers' active involvement in co-designing citrus cropping systems using an improved participatory method. Agron. Sustain. Dev. 32, 703-714.

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.

Lefèvre V., Capitaine M., Peigné J., Roger-Estrade J., 2012. Soil conservation practices in organic farming: overview of French farmers' experiences and contribution to future cropping systems design. 10th European IFSA Symposium, Aarhus, p. 10.

Meynard J.M., Dedieu B., Bos B., 2012. Re-design and co-design of farming systems: an overview of methods and practices. In: Darnhofer I., Gibbon D., Dedieu B. (Eds.), Farming Systems Research into the 21st century: the new dynamic. Springer, pp. 407-431.

Peigné J., Ball B.C., Roger-Estrade J., David C., 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. Soil Use and Management 23, 129-144.

Peigné J., Cannavaciuolo M., Gautronneau Y., Aveline A., Giteau J.L., Cluzeau D., 2009. Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. Soil and Tillage Research 104, 207-214.

Reau R., Monnot L.A., Schaub A., Munier-Jolain N., Pambou I., Bockstaller 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.

Sadok W., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messéan A., Doré T., 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. Agron. Sustain. Dev. 29, 447-461.

Sumberg J., Okali C., Reece D., 2003. Agricultural research in the face of diversity, local knowledge and the participation imperative: theoretical considerations. Agricultural Systems 76, 739-753.

Vanloqueren G., Baret P.V., 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. Research Policy 38, 971-983.

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 7, 235-250.