



HAL
open science

Expérimentation de systèmes de culture innovants : avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle

Violaine Deytieux, C. Vivier, Sebastien Minette, Jean Marie Nolot, S. Piaud,
A. Schaub, N. Lande, M.S. Petit, Raymond Reau, L. Fourrié, et al.

► To cite this version:

Violaine Deytieux, C. Vivier, Sebastien Minette, Jean Marie Nolot, S. Piaud, et al.. Expérimentation de systèmes de culture innovants : avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle. *Innovations Agronomiques*, 2012, 20, pp.49-78. hal-01019450

HAL Id: hal-01019450

<https://hal.science/hal-01019450>

Submitted on 28 May 2020

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Expérimentation de systèmes de culture innovants : avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle¹

Deytieux V.¹, Vivier C.², Minette S.³, Nolot J-M.⁴, Piaud S.⁵, Schaub A.⁶, Lande N.⁷, Petit M-S.⁸, Reau R.⁹, Fourrié L.¹⁰, Fontaine L.¹¹

¹ : INRA, UE 115 Domaine Expérimental d'Epoisses, F-21110 Bretenière

² : Chambre d'Agriculture de l'Yonne, 14 bis rue Guynemer, BP 50289, F-89005 Auxerre Cedex

³ : Chambre d'Agriculture de Poitou-Charentes, INRA Les Verrines BP 6, F-86600 Lusignan

⁴ : INRA, UMR 1248 AGIR, BP 52627, F-31326 Castanet Tolosan Cedex

⁵ : Chambre d'Agriculture de Seine et Marne, Pôle Agronomie - Environnement, 418 rue Aristide Briand, F-77350 Le Mée sur Seine

⁶ : Association pour la Relance Agronomique en Alsace, BP 30022 Schiltigheim, F-67013 Strasbourg

⁷ : CETIOM, avenue Lucien Brétignières, F-78850 Thiverval Grignon

⁸ : Chambre d'Agriculture de Bourgogne, 3 rue du Golf, F-21800 Quétigny

⁹ : INRA, UMR 211 Agronomie, BP 1, F-78850 Thiverval Grignon

¹⁰ : ITAB, Quartier Marcellas, F-26800 Etoile sur Rhône

¹¹ : ITAB, Maison de l'Agriculture, 9 rue André Brouard, F-49105 Angers Cedex 01

Correspondance : violaine.deytieux@epoisses.inra.fr

Résumé

L'expérimentation "système de culture" est une étape importante du processus de conception-évaluation de systèmes de culture. Elle permet de tester au champ la faisabilité technique et la cohérence agronomique des systèmes de culture les plus prometteurs et d'évaluer leurs résultats agronomiques et techniques, ainsi que leurs performances socio-économiques et environnementales. Elle représente également un lieu d'échanges interdisciplinaires intéressant, pouvant être source d'innovation. Dans cet article, nous décrivons une démarche d'expérimentation "système de culture" et ses principales spécificités méthodologiques dans le domaine des cultures assolées. Ensuite, nous présentons les acquis méthodologiques et les outils développés pour (i) faciliter la mise en œuvre et la conduite de ce type d'expérimentation, (ii) permettre la mise en réseau opérationnelle d'expérimentations testant, dans des contextes de production divers, des systèmes de culture répondant à différents enjeux. Enfin, nous présentons la structuration et l'organisation de deux réseaux français d'expérimentations "système de culture" : celui du Réseau Mixte Technologique "Systèmes de Culture Innovants" pour les filières Grande Culture et Polyculture-Elevage et celui initié dans le cadre du projet RotAB pour les Grandes Cultures en agriculture biologique sans élevage. Des perspectives de travail et notamment l'analyse transversale des résultats entre expérimentations et la valorisation des résultats et performances des systèmes de culture testés sont abordées.

Mots-clés : système de culture ; expérimentation ; réseau ; grande culture ; polyculture-élevage

¹ Communication présentée lors du colloque « Vers des systèmes de culture innovants et performants : de la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former » du RMT Systèmes de culture innovants, le 21 octobre 2011.

Abstract: Testing innovative cropping systems: methodological progresses and operational network implementation

Cropping system experiment is an important step in the iterative design and evaluation process of cropping system. It makes it possible to test in field conditions technical feasibility and agronomic consistency of the most promising cropping systems and to evaluate their agronomical and technical results, then their socio-economic and environmental performances. It is also a source of innovation by promoting interdisciplinary exchanges. In this paper, we describe a cropping system experiment approach and its main methodological specificities. Then, we present methodological knowledge and tools recently developed in order (i) to facilitate the implementation of cropping system experiment, (ii) to allow the operational networking of experiments that test several cropping systems designed to reach different objectives and adapted to various production contexts. Finally, we present the functioning of two French experimental networks dealing with cropping system: the first one is the experimental network of the "innovative cropping systems" Joint Network of Technology dealing with arable crop and mixed crop systems; the second one has been initiated in the RotAB project for organic arable crop systems without livestock. Working perspectives, including synthetic and cross-sectional analysis and especially the production of synthetic and common analysis of cropping system results and performances are also mentioned.

Keywords: cropping system; experimentation; network; arable crops; mixed crops

Introduction

Face aux nouveaux enjeux de l'agriculture, les acteurs de la recherche, du développement agricole et de la formation se sont de plus en plus mobilisés autour de la conception et de l'évaluation de systèmes de culture (SdC) au cours des dernières décennies. Leur but est de proposer des systèmes de culture innovants permettant de répondre aux objectifs du développement durable (Reau et Doré, 2008).

Le processus itératif de conception-évaluation de systèmes de culture comprend différentes étapes et mobilise différentes compétences, connaissances, méthodologies et outils (Loyce et Wéry, 2006). Ce processus peut être mis en œuvre selon deux grandes étapes complémentaires (Figure 1). La première est le prototypage virtuel, qui peut mobiliser un groupe de travail en atelier de conception (Lançon et al., 2007 ; Lançon et al., 2008) en s'appuyant ou non sur la modélisation (Bergez et al., 2010) et qui consiste à concevoir et à évaluer *a priori* (en *ex ante*) des prototypes de systèmes de culture. La seconde étape est l'expérimentation au champ des systèmes de culture prometteurs issus des étapes de conception et d'évaluation *ex-ante* de systèmes de culture : c'est l'expérimentation "système de culture". Cette étape est primordiale afin d'évaluer *a posteriori* (en *ex post*) les systèmes de culture au champ et de valider certaines hypothèses faites lors de l'étape de conception ou d'évaluation *ex-ante*. Elle permet aussi de vérifier la faisabilité technique du système de culture et sa cohérence agronomique.

Cette approche expérimentale se distingue des approches factorielles utilisées plus couramment en agronomie : il ne s'agit pas d'évaluer l'effet d'un facteur, comme par exemple un élément de l'itinéraire technique ou une nouvelle technique, toutes choses égales par ailleurs (réponse de la culture à une dose d'azote par exemple) mais de tester la combinaison des techniques mises en œuvre, en considérant les interactions entre ces techniques à une échelle annuelle et pluriannuelle et leurs effets sur les différentes composantes de l'agroécosystème (Reau et al., 1996 ; Nolot et Debaeke, 2003). De plus, l'expérimentation "système de culture" est conduite à l'échelle pluriannuelle pour permettre de tester une succession culturale (Debaeke et al., 1996), et par exemple d'étudier l'évolution de la flore adventice qui s'évalue à l'échelle de la succession culturale, du fait de la persistance dans le sol du stock semencier d'adventices (Munier-Jolain et al., 2008).

L'expérimentation "système de culture" soulève de nombreuses questions méthodologiques. Des travaux ont été conduits à partir des années 1990 pour mieux appréhender et formaliser cette approche (Reau et al., 1996 ; Collectif, 1995 ; Nolot et Debaeke, 2003). Cependant, peu d'expérimentations "système de culture" ont été conduites jusqu'au début des années 2000 (Reau et al., 2009). Aujourd'hui, en France, les partenaires de la recherche, du développement et de la formation ont investi dans cette activité (Reau et Doré, 2008). Du fait de la complexité de la conduite de tels dispositifs expérimentaux et de la difficulté à valoriser les résultats obtenus, les différents partenaires ont montré leur intérêt à travailler en réseau afin de (i) échanger sur les méthodes et compétences nouvelles nécessaires à la conduite de ce type d'expérimentation et, (ii) partager les résultats et les performances des systèmes de culture testés, en testant notamment un même système de culture ou des systèmes de culture similaires dans différents contextes pédoclimatiques et socioéconomiques. Ces différents partenaires se sont mobilisés pour les filières "grande culture" et "polyculture-élevage", depuis 2007, au sein du réseau d'expérimentations de systèmes de culture du Réseau Mixte Technologique Systèmes de Culture Innovants (RMT SdCi) et, depuis 2008, au sein du réseau expérimental RotAB², pour le cas particulier des grandes cultures sans élevage en agriculture biologique. Dans ces réseaux expérimentaux, les expérimentations mises en place visent à étudier un ou des systèmes de culture qui est (sont) défini(s) lors de la mise en place de l'expérimentation et qui reste(nt) stable(s) au cours du temps, ceci afin de pouvoir étudier les résultats et performances de systèmes de culture sur le moyen-long terme.

Après avoir rappelé ce qu'est une expérimentation "système de culture", la démarche expérimentale, ses caractéristiques et ses difficultés, nous dresserons le bilan des acquis et avancées méthodologiques en termes de conduite d'expérimentation "système de culture". Puis, nous illustrerons, via l'expérience des réseaux expérimentaux du RMT SdCi et de RotAB, les outils et méthodes aujourd'hui opérationnels pour la conduite de ces expérimentations et leur mise en réseau. Nous présenterons ensuite les réseaux RMT SdCi et RotAB et les thématiques abordées à travers les systèmes de culture expérimentés. Nous concluons sur les perspectives de travail des réseaux aujourd'hui mis en place.



Figure 1 : Deux grandes étapes complémentaires pour la conception et l'évaluation de systèmes de culture : le prototypage virtuel en atelier de conception et l'expérimentation au champ (d'après Lançon et al., 2008)

² Initié dans le cadre du projet CASDAR 7055 RotAB « Peut-on construire des rotations et assolements qui limitent les impacts environnementaux tout en assurant une viabilité économique de l'exploitation ? » (2008-2010)

1. L'expérimentation "système de culture" : objectifs, approche, spécificités et difficultés

1.1. Objectifs de l'expérimentation "système de culture"

Les objectifs d'une expérimentation "système de culture" peuvent être multiples. L'objectif principal est d'évaluer le système de culture étudié (Debaeke et al., 2008) :

- (i) en termes de faisabilité technique et de cohérence agronomique, en analysant la capacité des stratégies de gestion mises en œuvre à atteindre les états du sol et des cultures visés (résultats agronomiques comme la maîtrise des bioagresseurs, l'alimentation minérale des cultures) ;
- (ii) en termes d'étude de la capacité du système de culture dans son ensemble à atteindre les objectifs initiaux qui lui sont assignés lors de la conception (résultats techniques et économiques pour l'agriculteur) ;
- (iii) en termes de contribution au développement durable, en s'intéressant aux performances économiques, sociales et environnementales du système de culture, au-delà des résultats techniques et des objectifs initiaux fixés par rapport à un seul enjeu local de qualité de l'eau par exemple.

L'évaluation globale des systèmes de culture en expérimentation selon ces 3 niveaux permet (i) d'identifier des SdC prometteurs performants, et (ii) d'identifier d'éventuels antagonismes entre enjeux de la durabilité qui n'auraient pas été envisagés lors de la conception (Debaeke et al., 2008 & 2009).

Un second objectif vise à produire des données et des références sur les systèmes de culture, ressources utiles (i) aux actions de développement agricole (par exemple, accompagnement de groupes d'agriculteurs souhaitant faire évoluer leurs SdC dans le cadre de nouvelles réglementations), (ii) à la formation (par exemple : cas d'études illustratifs pour les étudiants dans l'enseignement supérieur agricole), et (iii) aux travaux de recherche (par exemple, compréhension et modélisation de processus sous-jacents au fonctionnement de l'agroécosystème, comme les cycles du carbone ou de l'azote). L'expérimentation "système de culture", en testant des systèmes de culture en rupture forte sur lesquels aucune référence n'est disponible, permet de produire des références originales (Debaeke et al., 2009).

Enfin, les expérimentations "système de culture" peuvent également servir de base concrète d'échanges et de mutualisation entre acteurs de la recherche, du développement et de la formation. En effet, la mise en place et la conduite d'une expérimentation "système de culture" stimulent les discussions pour décider du pilotage du système de culture ou encore pour évaluer les performances du système de culture testé et le faire évoluer. Ces discussions, favorisées par la mise en réseau d'expérimentations « système de culture », permettent de développer de nouvelles compétences via l'assemblage des savoirs et des savoir-faire et d'en faciliter l'apprentissage par le développement d'une culture commune. L'atteinte de cet objectif d'échanges interdisciplinaires requiert le temps d'instaurer des relations de confiance entre les différents acteurs et le développement de nouveaux outils compréhensibles et appréhendables par tous.

Ainsi, les objectifs d'une expérimentation "système de culture" peuvent être multiples mais pas incompatibles : évaluer un système de culture ; produire des références ; créer un lieu d'échanges interdisciplinaires. Il est utile de bien les identifier et de les prioriser avant de choisir le dispositif expérimental qui répondra le mieux à ces attentes.

1.2 Démarche de l'expérimentation "système de culture"

La démarche d'expérimentation "système de culture" a bénéficié des apports méthodologiques des travaux de conception et de test d'itinéraires techniques (Meynard et al., 1996 ; Reau et al., 1996).

Cette démarche expérimentale est assez proche de l'approche de prototypage de systèmes de production développée par Vereijken (1997), et a été formalisée selon 5 grandes étapes (Debaeke et al., 2009):

1. Définition d'un jeu d'objectifs et de contraintes assignés au système de culture à expérimenter ;
2. Choix de la stratégie agronomique permettant de répondre à ce jeu d'objectifs et de contraintes ;
3. Formulation d'un ensemble cohérent de règles de décision permettant la mise en œuvre pratique et opérationnelle du système de culture ;
4. Application au champ du système de culture et de son jeu de règles de décision ;
5. Evaluation et amélioration de la stratégie agronomique du système de culture et de ses règles de décision.

Autant cette démarche a été bien formalisée, autant elle reste complexe à mettre en œuvre du fait de la diversité des objectifs visés par une expérimentation "système de culture", de la complexité de l'objet d'étude, des spécificités méthodologiques, et de la diversité des compétences à mobiliser pour la conduite de ces expérimentations.

1.3. Spécificités de l'expérimentation "système de culture" et questions soulevées par la mise en réseau de ce type d'expérimentation

Contrairement à l'approche factorielle où il s'agit de comparer différents traitements pour sélectionner l'optimum, comme on le fait avec des courbes de réponse par exemple, les expérimentations « système de culture » consistent en premier lieu à tester la capacité du système de culture à satisfaire les objectifs assignés en termes agronomiques et technico-économiques et plus récemment en termes de contribution au développement durable. Il s'agit plus de tester une stratégie de gestion et des combinaisons de techniques permettant de satisfaire des objectifs dans une diversité de contextes que de rechercher le meilleur système de culture pour un contexte expérimental précis (Reau et al., 1996). Ceci suppose donc que l'expérimentation "système de culture" intègre les spécificités locales du site d'expérimentation et autorise l'adaptation du système de culture étudié (objet étudié) et du protocole de suivi (observations et mesures pour le suivi expérimental).

Même si ces deux types d'approche expérimentale, factorielle *versus* système de culture, partagent une exigence de rigueur et de respect d'un protocole, ainsi que des objectifs communs de test d'hypothèses, de création de références et de partage de connaissances, ils diffèrent d'une part par la nature des objets étudiés et la méthode d'étude, et d'autre part, par la nature de l'implication de l'expérimentateur (Tableau 1).

Dans les deux cas, la taille du dispositif expérimental fait l'objet de compromis. En expérimentation "système de culture", le choix de la taille des parcelles expérimentales résulte d'un compromis entre la maîtrise de l'hétérogénéité du sol et la représentation de la réalité agricole (ex : débit de chantier, contraintes de l'exploitation agricole et organisation des chantiers). Les répétitions dans le temps et l'espace du système de culture testé sont préférées aux répétitions statistiques (une même culture du système de culture répétée une année donnée).

Des observations et mesures sont réalisées dans ces deux types d'expérimentation, sans distinction *a priori* de niveau de précision et de qualité. Le choix des observations et mesures résulte d'un compromis satisfaisant entre les moyens disponibles et les observations et mesures nécessaires pour répondre aux objectifs de l'expérimentation. Les variables sont à observer et mesurer avec un souci de contrôle statistique (méthodes d'échantillonnage, répétition des mesures).

L'expérimentation "système de culture" mobilisera cependant aussi des observations et mesures particulières pour (i) prendre les décisions d'interventions techniques dans le cadre de "règles de décision", (ii) porter un diagnostic agronomique expliquant les résultats obtenus, et (iii) caractériser l'état

initial de la parcelle et son état final afin de connaître l'évolution de certaines composantes de l'agroécosystème sur le moyen-long terme (fertilité du sol, flore adventice, ...).

Tableau 1 : Principales caractéristiques des essais factoriels et des expérimentations "système de culture" : deux approches expérimentales bien distinctes et complémentaires

	Essai factoriel	Expérimentation "système de culture"
Objectif principal de l'étude	Comparer plusieurs modalités d'une technique (ou de quelques techniques combinées, élément d'un itinéraire technique), les autres techniques du système étant gérées toutes choses égales par ailleurs afin de comprendre l'effet de ce « facteur ».	Evaluer la capacité d'un système de culture (ou d'un itinéraire technique) à satisfaire les objectifs qui lui sont assignés. <i>L'expérimentation d'itinéraire technique est un cas particulier d'expérimentation « système de culture » conduite à l'échelle annuelle.</i>
Objet d'étude	Différents traitements, comparés entre eux, toutes choses égales par ailleurs.	Le système de culture, défini par des objectifs à atteindre et des résultats attendus, et considéré comme un ensemble cohérent
Protocole	Variation de la technique, d'un traitement à l'autre. Liste des mesures et observations.	Description de la succession culturale prévue, des stratégies de gestion et de l'itinéraire technique de chaque culture, certaines interventions culturales étant pilotées par des règles de décision, d'autres non. Liste des mesures et observations.
Analyse et Interprétation des résultats	Analyse de l'écart de résultat entre les différents traitements afin d'estimer <i>a posteriori</i> l'optimal de la technique. Comparaison entre traitements avec parfois un témoin (répétitions et contrôle statistique).	Comparaison des résultats obtenus par chaque système de culture aux résultats attendus (diagnostic agronomique et interprétation, calcul d'indicateurs). Ces résultats attendus peuvent être interprétés et relativisés au regard des résultats obtenus par un système de référence, historique ou actuel, soit couramment pratiqué, soit conduit en parallèle dans le dispositif.
Rôle de l'expérimentateur	Réalise les traitements expérimentaux en appliquant le protocole. Décrit et analyse le comportement des cultures. Mesure ce qui est indiqué dans le protocole.	Adapte les interventions culturales selon les règles de décision. Décrit et analyse le comportement des cultures. Mesure ce qui est prévu dans le protocole et notamment ce qui permet d'évaluer les résultats obtenus au regard des résultats attendus.
Place éventuelle de l'agriculteur ou du chef de culture	Interventions souvent prédéfinies à l'avance, ce qui facilite leur planification et leur réalisation.	Interventions à adapter selon les états observés du système et les règles de décision, ce qui suppose une étroite collaboration et de la réactivité pour intervenir dès que nécessaire, sans planification préalable le plus souvent.
Critères de qualité expérimentale	Puissance statistique du dispositif expérimental. Maîtrise des écarts entre techniques tels que prévus dans le protocole. Maîtrise des hétérogénéités du milieu et des facteurs non étudiés afin de garantir le « toutes choses égales par ailleurs ».	Maîtrise du système de culture et de l'application des règles de décision. Gestion des systèmes de culture et prise de décision indépendantes entre systèmes de manière à garantir la logique et la cohérence interne de chaque système (cas d'un dispositif comprenant plusieurs systèmes de culture). Explication des décisions prises, des résultats agronomiques et techniques obtenus, des performances et de l'évolution des états de l'agrosystème. Evaluation de leur significativité (répétitions et contrôle statistique, recours à la modélisation).
Mise en réseau	Réseau centralisé avec un protocole unique (traitements à étudier, mesures et observations), adapté localement si nécessaire.	Réseau structuré autour d'objectifs et méthodes communs, d'une liste minimale d'observations et mesures pour chaque objectif assigné au système de culture. Les systèmes de culture à expérimenter sont définis localement ; les règles de décision et leur application pour atteindre les objectifs sont propres à chaque expérimentation ; certaines règles de décision peuvent être communes à différentes expérimentations.

Le protocole d'une expérimentation "système de culture" détaille en priorité les objectifs assignés au système de culture testé et les résultats attendus, ainsi que les stratégies de gestion à mettre en œuvre. Ces stratégies de gestion peuvent être transcrites pour partie sous la forme de règles

permettant de décider des opérations techniques à réaliser en s'adaptant aux conditions pédoclimatiques et de pressions biotiques. L'expérimentateur a donc une plus grande autonomie dans la mise en œuvre de l'expérimentation, ce qui nécessite des compétences particulières pour observer, mettre en œuvre et appliquer les règles de décision du système étudié.

Le traitement et l'analyse statistique des données produites par ces deux approches expérimentales sont également différents. Dans le cas des essais factoriels, suivant le plan expérimental choisi, de nombreux tests statistiques sont disponibles et permettent de juger objectivement de la significativité de l'effet des facteurs étudiés. Dans le cas des expérimentations « système de culture », il ne s'agit pas d'évaluer la significativité de l'effet de différents facteurs et de leurs interactions via un plan expérimental adéquat mais de vérifier que les performances du système de culture, considéré dans son ensemble avec sa cohérence agronomique interne, sont bien liées aux stratégies de gestion et règles de décision qui définissent le système, et non à l'effet du hasard. Ainsi, les modèles statistiques utilisés en essai factoriel ne sont que très rarement pertinents pour l'analyse de données d'expérimentation « système de culture ».

Dans le cas d'une expérimentation où seul un système de culture est étudié sur quelques parcelles, le système de culture est évalué via la fréquence à laquelle il atteint les objectifs et résultats attendus en comparant, pour une variable relative aux résultats ou performances du système de culture, les valeurs observées à la valeur absolue donnée comme objectif à atteindre. Pour ces mêmes expérimentations ne testant qu'un seul système de culture avec peu de répétitions, d'autres méthodes statistiques peuvent être mobilisées afin de tester la significativité de l'évolution d'un indicateur représentant un effet cumulatif du système de culture, en tenant compte de la variabilité interannuelle de cet indicateur. Ainsi Chikowo et al. (2009) ont utilisé un test de Pearson afin d'analyser l'évolution de la flore adventice sur le long terme dans différents systèmes de grande culture conduits en protection intégrée contre les adventices. Dans cette étude, le test a été utilisé pour caractériser les tendances d'évolution de la flore adventice sur plusieurs années, en classant les situations en 'augmentation des densités'/'stabilité des densités'/'diminution des densités', avant de quantifier la proportion de parcelles conduites en Protection Intégrée satisfaisantes du point de vue de la maîtrise des infestations (i.e. stabilité ou diminution des densités).

D'autres expérimentations disposent d'un plan expérimental permettant de tester différents systèmes de culture, incluant le plus souvent un système de culture de référence. Ce système de culture de référence peut servir avant tout à définir et quantifier les objectifs des autres systèmes de culture prototypes conduits en parallèle (par exemple : réduction de 20% de la consommation en énergie par rapport à la référence), mais aussi à analyser l'effet de la variabilité annuelle sur le fonctionnement de l'agroécosystème. Lorsque le nombre de répétitions est faible, que les hypothèses de normalité et d'homogénéité des variances requises pour les tests statistiques classiques ne peuvent être vérifiées, des méthodes de permutation (bootstrap) peuvent être utilisées afin de mettre en évidence un effet du système de culture sur les variables observées ou calculées (par exemple, mise en évidence de l'amélioration des indicateurs des impacts environnementaux dans des stratégies de protection intégrée par rapport au système de référence : Chikowo et al., 2009 ; Deytieux et al., 2012).

Ces méthodes statistiques permettent d'analyser les données à l'échelle d'une expérimentation. Les résultats peuvent être considérés comme valides dans le domaine de validité décrit par le contexte de l'expérimentation. Comme pour toute expérimentation agronomique, se pose la question de la validité pour d'autres situations agronomiques. Ceci renforce l'intérêt de la mise en réseau d'expérimentations « système de culture » pour élargir la gamme des contextes. Dans ce cas, l'analyse transversale des données générées par le réseau permet de préciser la gamme de validité des résultats observés localement, de conduire des études plus génériques sur les relations entre indicateurs des performances des systèmes de culture, et d'identifier dans une gamme plus large de systèmes de culture ceux qui sont le mieux à même de concilier les différents enjeux de la durabilité. La mise en évidence des déterminants des performances nécessite aujourd'hui de résoudre des difficultés

méthodologiques, sur le plan statistique, pour tenir compte des interactions complexes entre situation de production et stratégie agronomique, la (ou les) stratégie(s) gagnantes pour concilier différents enjeux de durabilité n'étant pas forcément les mêmes dans des situations de production contrastées.

L'approche "essai factoriel" et l'approche "expérimentation système de culture" diffèrent sur plusieurs points ; cependant, plutôt que d'opposer ces deux approches, il semble intéressant de valoriser leur complémentarité, en les coordonnant. L'intégration d'essais factoriels dans une expérimentation "système de culture" ou la mise en place d'essais factoriels en parallèle de l'expérimentation « système de culture » peut permettre de mieux comprendre un processus en isolant l'effet d'un facteur ou de mettre au point et valider une règle de décision ou une technique avant sa mise en œuvre dans le système de culture testé. Par exemple, plusieurs bandes avec différents choix variétaux (variétés pures ou mélange de variétés ayant des caractéristiques agronomiques différentes) peuvent être implantées une année donnée dans une parcelle d'expérimentation "système de culture" afin de juger du meilleur choix variétal à conserver pour la suite de l'expérimentation. Cependant, cette pratique est à réserver à des "variantes" peu susceptibles d'interagir avec les autres choix techniques ou de créer des hétérogénéités intra-parcellaires préjudiciables à la suite de l'expérimentation et ne doit pas se faire au préjudice de la conduite et du suivi de l'expérimentation pour pouvoir garantir l'analyse des résultats et des performances du système de culture.

Les spécificités de l'expérimentation "système de culture", et le fait qu'elle soit moins communément enseignée et pratiquée, impliquent que la mise en réseau de telles expérimentations ne peut pas être opérée de la même manière que la mise en réseau d'essais factoriels. La mise en réseau d'expérimentations "système de culture" peut porter sur :

- le test de systèmes de culture visant des objectifs précis, évalués par rapport à des résultats attendus définis à l'aide d'un ou plusieurs critères ; il est important d'identifier lors de la mise en réseau d'expérimentations, si tous les systèmes de culture partagent tout ou partie des objectifs qui leurs sont assignés ou s'ils visent des objectifs très différents ;
- l'échange de méthodes et la mutualisation des expériences, que ce soit pour la maîtrise technique du système de culture à tester ou d'une technique particulière, pour la prise de décision, pour la réalisation des observations et mesures ou l'analyse des résultats : pour cela, il apparaît nécessaire de définir et développer des méthodes communes et de créer des lieux d'échanges centrés sur les dispositifs expérimentaux ;
- l'analyse commune de résultats et performances des systèmes de culture, et l'analyse des stratégies de gestion pluriannuelles mises en œuvre, à l'aide de recommandations méthodologiques communes, permettant d'obtenir ces résultats et performances, ainsi que la production de références issues de ces analyses.

Cette mise en réseau d'expérimentations "système de culture" fait apparaître une fonction majeure et nouvelle d'animation et de coordination, plus orientée sur :

- l'apprentissage par la mutualisation des savoirs et des savoir-faire de tous les acteurs en fonction de leurs attentes et besoins (recherche, instituts techniques, chambres d'agriculture, enseignement agricole, agriculteurs) ;
- le partage d'outils et de méthodes ;
- l'analyse comparée des résultats de systèmes de culture similaires étudiés sur différents sites, l'interpolation des résultats, et leur valorisation au niveau local, régional et national ;
- l'adaptation de systèmes de culture à d'autres contextes et l'extrapolation des résultats des systèmes de culture au-delà de leur contexte d'expérimentation.

La mise en réseau d'expérimentations "système de culture" peut se baser sur des acquis méthodologiques pour la conduite et la valorisation d'une expérimentation. Tout l'enjeu réside dans la

mise en place et le partage de cette culture commune, le développement et la mise à disposition d'outils permettant d'en faciliter la pratique et d'envisager une mise en réseau opérationnelle d'expérimentations "système de culture".

2. Des acquis méthodologiques pour la conduite et la valorisation d'une expérimentation "système de culture"

2.1. Quel dispositif expérimental pour quels objectifs ?

La diversité des systèmes de culture envisageables au moment de la phase de conception, selon les enjeux prioritaires considérés et le contexte technico-économique, et les différents objectifs de l'expérimentation "système de culture" (évaluation de systèmes de culture, production de données et de références pour la recherche ou pour le conseil et la formation, lieu d'échanges et de démonstration, ..) justifie le choix de différents types de dispositifs expérimentaux pour l'expérimentation "système de culture" (Tableau 2).

Le dispositif expérimental peut être choisi en considérant différents critères : niveau de rupture du système de culture testé et réalisme par rapport au contexte actuel, nature des techniques combinées dans la mise en œuvre du système de culture, niveau de prise de risque associé (Debaeke et al., 2008). Ces différents critères permettent de choisir entre un dispositif "en station expérimentale" ou "en parcelle d'agriculteur ou de lycée agricole".

Du point de vue expérimental, le choix d'un dispositif conduit en station expérimentale permet de mobiliser plus de moyens pour la réalisation d'observations et de mesures (instrumentation et automatisation de l'enregistrement de dynamiques d'état) et éventuellement une plus grande réactivité d'intervention (disponibilité des outils et des agents). Un dispositif en station expérimentale offre également plus facilement la possibilité de contrôler l'hétérogénéité des sols par la mise en place de répétitions de chacun des systèmes testés. Cependant, le dispositif en station sera souvent plus limitant que le dispositif en parcelle d'agriculteur ou de lycée agricole dès lors que l'on souhaite travailler à l'échelle agricole (prise en compte de contraintes d'organisation de chantiers par exemple), ou se soustraire des effets de bordure (intégration dans un paysage). De plus, les expérimentations conduites en parcelle d'agriculteur ou en lycée agricole mobilisent les mesures et observations habituelles des activités de conseil ou de formation, ce qui doit favoriser le transfert du système de culture testé ou de certaines stratégies de gestion vers le développement agricole.

Du point de vue de l'objet d'étude (le système de culture), le dispositif en station offre la possibilité de prendre davantage de risques et de tester des systèmes de culture en rupture forte. En effet, les dispositifs en station expérimentale se veulent plus prospectifs, et la pérennité de la station expérimentale n'est pas remise en cause en cas de fortes pertes de récolte sur l'expérimentation ; ceci peut être plus délicat et préjudiciable chez un agriculteur ou dans une exploitation de lycée agricole. Les agents des stations expérimentales peuvent être plus disponibles pour réaliser les interventions, pour acquérir des techniques nouvelles et y consacrer un temps d'apprentissage suffisant. L'accès à du matériel spécifique y est souvent plus facile. Le dispositif en parcelle d'agriculteur ou de lycée agricole, quant à lui, facilite l'évaluation de la faisabilité de mise en œuvre du système de culture sous contraintes de ressources (temps de travail, priorités de chantier, compétences, disponibilité du matériel, ...), garantissant ainsi le réalisme du système de culture testé dans le contexte socio-économique actuel et un transfert plus immédiat des techniques et combinaisons de techniques mises en œuvre dans le système de culture testé. Ceci est d'ailleurs fréquemment observé : l'agriculteur qui expérimente adopte certains éléments du système de culture testé sur ses autres parcelles, voire fait évoluer les objectifs de son système de culture en fonction des résultats obtenus sur le système de culture testé. La place de l'agriculteur dans un dispositif "en parcelle d'agriculteur" peut-être variable : l'agriculteur peut se contenter de réaliser les interventions, déclenchées après observations du

conseiller, ou être acteur de l'expérimentation et impliqué dans la formulation et l'ajustement des règles de décision, les observations et mesures, les prises de décision relatives aux interventions culturales.

Chacun des deux types de dispositif présentés a donc ses avantages et ses inconvénients en termes de lourdeur de suivi expérimental, d'acuité des mesures et observations réalisées, de niveau de rupture du système de culture expérimenté et de sa capacité à répondre aux contextes et enjeux actuels ou futurs. Ils peuvent aussi être considérés comme complémentaires et nécessaires pour envisager le transfert de technologie de la station à la parcelle d'agriculteur (Debaeke et al., 2008). En effet, les systèmes de culture testés en station peuvent produire des résultats mobilisables pour la conception ou le test de systèmes de culture en parcelle agricole. D'autre part, les dispositifs en parcelle d'agriculteur ou de lycée agricole, souvent moins contraignants en termes de suivi, permettent d'envisager une mise en réseau multilocal pour couvrir une variété de situations pédoclimatiques, pour apprécier les domaines de validité de tout ou partie des résultats produits en station, ou susciter de nouvelles questions à approfondir dans des expérimentations en station expérimentale (nouvelles méthodes de mesures et observations, nouvelles techniques, adaptation du système de culture "prototype").

Tableau 2 : Comparaison des dispositifs expérimentaux "système de culture" en station expérimentale, en parcelle d'agriculteur ou de lycée agricole.

Caractéristiques du dispositif	Dispositif en station expérimentale	Dispositif en parcelle d'agriculteur ou de lycée agricole
Taille du dispositif <i>La charte du réseau du RMT SdCi recommande une surface minimale de 1 ha par parcelle élémentaire</i>	Petites parcelles (surface comprise entre 0,1 et 2 ha) et répétitions.	Grandes parcelles (surface majoritairement supérieure à 1 ha)
Acteur principal du dispositif	Ingénieur et technicien d'expérimentation	Agriculteur et conseiller, directeur d'exploitation de lycée agricole
Acteurs de proximité	Chercheurs, Et éventuellement ingénieurs du développement, enseignement agricole	Agriculteurs et conseillers ou enseignants, Et le plus souvent chercheurs, ingénieurs du développement
Principales productions recherchées	Connaissances des mécanismes biotechniques, Références sur les résultats et performances des systèmes de culture testés, (Démonstration)	Connaissance de la faisabilité des systèmes de culture étudiés, Références sur les résultats et performances des systèmes de culture testés, Démonstration
Niveau de rupture du système de culture expérimenté	Système de culture en rupture forte, dont le transfert peut s'envisager à moyen et long terme	Système de culture acceptable aujourd'hui pour l'agriculteur qui le met en œuvre et dont le transfert peut s'envisager à court et moyen terme

2.2. Mise en œuvre du système de culture à expérimenter : pilotage par "règles de décision"

Dans la conduite d'une expérimentation "système de culture", il est utile de bien distinguer la mise en œuvre du système de culture par le chef de culture ou l'agriculteur, de l'application du protocole d'observations et de mesures prévues pour l'évaluer, parfois à la charge d'autres expérimentateurs.

La mise en œuvre du système de culture correspond au choix puis à la réalisation des interventions culturales, déterminés par les états observés de l'agrosystème. Cette démarche mobilise un processus de décision qui comprend notamment des "règles de décision" (RdD), vue comme une relation contexte-décision adaptée aux objectifs et aux contraintes de l'agriculteur, basé sur le concept de modèle pour l'action de l'agriculteur (Sebillotte et Soler, 1988).

Une règle de décision se formule de manière opérationnelle en trois parties (Collectif, 1995 ; Meynard et al., 1996 ; Reau et al., 1996):

- ▶ une fonction : "Pour quoi faire ?" en relation avec les objectifs et les contraintes ;
- ▶ une solution : "Comment faire ?" qui regroupe les relations contexte-action ; généralement, c'est une succession de "si ..., alors ; sinon ..., alors" : en fonction de la valeur d'indicateurs décrivant le contexte, on fait (ou non) telle ou telle action ;
- ▶ un (des) critère(s) d'évaluation : "l'a-t-on fait ?", "a-t-on obtenu le résultat escompté ?"; le critère d'évaluation permet de (i) vérifier si la solution a été "applicable" et si la fonction a été remplie *a posteriori*, (ii) juger de la validité de la RdD, et (iii) décider ou pas de la remettre en cause.

Ainsi, les règles de décision décrivent de manière opérationnelle et transposable à une gamme de situations les stratégies de gestion définissant le système de culture ; elles formalisent la motivation des interventions réalisées (ou des non interventions culturelles). Ce formalisme permet d'adapter les choix et les interventions culturelles au contexte du lieu et de l'année, en cohérence avec les objectifs assignés au système de culture, et permet d'assurer la traçabilité des choix faits. Cependant, il présente aussi quelques inconvénients, notamment la lourdeur et la difficulté qu'il y a à imaginer à l'avance tous les cas de figure possibles.

Au-delà de la difficulté à formaliser les règles de décision une à une, il est encore plus difficile de formaliser les combinaisons de règles de décision. Cette difficulté découle du fait que plusieurs décisions peuvent concourir au même objectif et qu'une décision visant un objectif peut aller à l'encontre d'autres objectifs assignés au système de culture.

En expérimentation "système de culture", la formalisation du système étudié sous forme de règles de décision est recommandée ; elle vise plusieurs objectifs :

- permettre à l'expérimentateur d'explicitier les objectifs et résultats attendus du système de culture, les stratégies de gestion à mobiliser, en respectant la cohérence agronomique du système de culture et en envisageant différents cas de figure d'évolution des états du milieu et du peuplement au cours de la campagne culturale ; cette réflexion préalable à la mise en expérimentation doit permettre au système de culture testé d'atteindre plus souvent les objectifs qui lui sont assignés ;
- garantir que la conduite de l'expérimentation puisse être assurée et poursuivie quel que soit l'expérimentateur, au moment d'une absence ou d'un départ. En effet, si l'expérimentation est suivie par plusieurs personnes, le recours à des règles de décision permet de donner les éléments nécessaires à la décision d'opportunité d'une intervention culturale ou à la manière d'opérer, indépendamment de la personne qui prend la décision, et pour un système de culture considéré dans les expérimentations où l'on teste plusieurs systèmes de culture en parallèle. En effet, il est essentiel que les décisions prises pour un système de culture soient indépendantes des décisions prises sur un autre système de culture, afin d'assurer la cohérence de chaque système de culture testé et d'éviter qu'une intervention ne soit réalisée sur deux systèmes alors qu'elle n'est justifiée que sur un des systèmes
- évaluer la faisabilité technique du système de culture, c'est-à-dire l'aptitude à mettre en œuvre les décisions, via l'analyse des écarts entre les décisions prises et les interventions effectivement réalisées : la RdD prévue a-t-elle été ou non appliquée et si non pourquoi ; les interventions ont-elles été réalisées en bonnes ou mauvaises conditions, avec une maîtrise technique satisfaisante (degré d'apprentissage) ? Par exemple, la règle de décision d'opportunité d'une intervention de désherbage mécanique sur des céréales semées après le

25 octobre peut être ajustée si pendant plusieurs années consécutives, les interventions d'automne sont impossibles faute de jours disponibles ;

- évaluer la cohérence agronomique et les performances du système de culture via l'analyse et l'interprétation de l'atteinte des objectifs assignés au système de culture : le résultat obtenu de la mise en œuvre des règles de décision est-il conforme ou non à celui attendu (aléa climatique, ou choix peu pertinent) ? L'état de l'agrosystème obtenu est-il satisfaisant ou remet-il en cause les règles de décision décrites dans le protocole ? Par exemple, plusieurs règles de décision relatives au choix variétal, à la préparation du sol, à la date et densité de semis, peuvent être proposées afin d'avoir un peuplement végétal homogène et vigoureux à la sortie de l'hiver. Si cet état de peuplement n'est jamais obtenu, sur plusieurs campagnes aux conditions climatiques différentes, les différentes règles de décision seront reformulées afin d'adapter les critères de décision ou de revoir les choix techniques. La conformité aux résultats attendus est évaluée par la satisfaction de l'expérimentateur sur la base de critères qualitatifs (ex : peuplement végétal vigoureux) ou quantitatifs (rendement) et d'un diagnostic agronomique permettant soit d'expliquer et d'envisager un élément correctif à un écart au résultat attendu, soit de relativiser un résultat satisfaisant obtenu essentiellement grâce à un contexte favorable et non représentatif;
- le transfert et l'adoption de systèmes de culture qui se sont avérés performants suite à leur expérimentation, vers d'autres expérimentateurs et d'autres agriculteurs.

La formalisation des règles de décision pour le pilotage d'un système de culture dans le cadre d'une expérimentation n'est pas une obligation ; cependant, elle est très probablement un élément clé du succès de la conduite de l'expérimentation ou de la valorisation des résultats et de leur utilisation pour le conseil ou la formation. Pour autant, leur formalisation n'est que très partiellement réalisée au démarrage de l'expérimentation et les règles de décision restent souvent peu précises dans les cas où l'expérimentateur ne les définit pas dans le protocole initial. Cette formalisation, souvent jugée fastidieuse, se heurte au manque de références, de méthodes, de compétences et d'outils pour formaliser des règles de décision adaptées, surtout lorsque de nouveaux enjeux et de nouveaux contextes de production apparaissent. De plus, dans le cas des dispositifs en parcelle agricole, l'agriculteur-expérimentateur a parfois des difficultés à s'approprier ce formalisme et à respecter certaines règles de décision, même si elles ont été définies avec lui lors de la co-conception du système de culture, par peur d'être dépossédé de son rôle de décideur sur son exploitation ou tout simplement par incompréhension entre le conseiller et l'agriculteur (objectifs à atteindre et techniques disponibles non partagés, volonté d'innover, contraintes internes à l'exploitation mal identifiées). Par exemple, la pratique du faux semis pour lutter contre les géraniums dans le colza étant beaucoup moins connue que pour le vulpin dans un blé, l'agriculteur est peu enclin à l'utiliser car peu convaincu de son efficacité. Dans l'expérimentation "système de culture" de Lézennes (Yonne) pilotée par un agriculteur et son conseiller, cette technique a été mise en œuvre en 2004 avec succès : le suivi des levées de géraniums, les choix de travail du sol (date, outil et réglage), la pluviométrie enregistrée durant l'interculture sont autant d'observations et mesures qui ont permis au conseiller et à l'agriculteur de comprendre et d'analyser les conditions nécessaires à la réussite d'un faux-semis visant à détruire des géraniums avant l'implantation d'un colza. Aujourd'hui, l'agriculteur a acquis un savoir-faire sur cette technique et s'en fait le porte-parole.

Les besoins d'échanges et de travail en commun autour de la question des règles de décision, leur formalisation, leur mise en œuvre et leur ajustement, sont réels et constituent un axe de travail pour le RMT « Systèmes de culture innovants ».

2.3. Evaluation du système de culture : dans l'absolu ou en relatif ?

En expérimentation, pour l'interprétation des résultats obtenus et l'évaluation du système de culture testé, il est important de savoir imputer un résultat soit à l'objet étudié (ici le système de culture), soit à des effets indésirables (hétérogénéité du sol, aléas climatiques, maîtrise technique, ...). En essai factoriel, les effets indésirables sont si possible regroupés dans le "toutes choses égales par ailleurs" et la significativité de l'effet imputable au facteur étudié est donnée par l'analyse statistique (répétitions), le plus fréquemment en écart à un témoin. En expérimentation "système de culture", la distinction entre l'effet du système de culture et les effets indésirables est bien moins évidente puisque la sensibilité à un aléa, ou une mauvaise maîtrise technique, sont aussi plus ou moins imputables au système de culture étudié. Par exemple, une culture moins vigoureuse suite à une stratégie d'implantation de la culture mal maîtrisée, est plus sensible aux attaques de certains insectes. Ainsi, l'évaluation du système de culture est plus complexe et s'effectue en général en ayant recours à un système de culture de référence (Debaeke et al., 2008), lequel n'est pas forcément conduit en parallèle dans l'expérimentation. Quelle est donc l'utilité d'un système de référence pour analyser et interpréter les résultats et performances du système de culture testé, localement et à l'échelle d'un réseau ? Comment le définir et l'utiliser ?

Dès lors que les objectifs assignés au système de culture expérimenté et les résultats attendus sont clairement identifiés, définis et quantifiés au début de la mise en œuvre de l'expérimentation, le recours à un système de culture de référence pour l'évaluation des résultats et performances du système de culture n'est pas obligatoire. Cependant, il est souvent difficile de formaliser dans l'absolu des objectifs à atteindre et des résultats attendus (critères et valeurs visées) ; les objectifs et les résultats attendus par l'agriculteur ne sont souvent explicités que pour quelques critères d'évaluation (Tableau 3). Enfin, même avec un suivi détaillé et appliqué de l'expérimentation, il n'est pas toujours évident d'objectiver l'interprétation qui peut être faite des résultats obtenus : une mauvaise maîtrise d'un bioagresseur est-elle liée au système de culture ou à la pression biotique de l'année ? L'évaluation du système de culture dans l'absolu montre alors ses limites et le recours à un système de culture de référence devient nécessaire pour la réalisation d'un diagnostic agronomique en analysant si certains événements de l'année ont été mieux maîtrisés dans le SdC de référence que dans le SdC testé.

Tableau 3 : Exemple d'explicitation des objectifs visés et des résultats attendus de deux systèmes de culture testés dans le réseau d'expérimentations du RMT SdCi.

	Objectifs visés	Résultats attendus
Système de culture de Brie-Comte Robert (77)	Assurer une bonne rentabilité du système de culture et avoir une bonne performance en termes de qualité des eaux avec un usage réduit des intrants (pesticides, notamment herbicides, et engrais azoté minéral)	Pas de pertes économiques dues aux bioagresseurs : Marge brute > ou = à un système de culture conventionnel ; Risque lié aux produits phytosanitaires réduit : lphy eaux profondes > 7 ; Lessivage des nitrates réduit : I NO ₃ > 7
Système de culture de Rouffach (68)	Obtenir une marge importante Economiser l'énergie fossile Réduire les fuites de nitrates et la pollution par les produits phytosanitaires, tout en ayant 2 mois de temps libre par an	Marge ≥ marge en monoculture de maïs ; Consommation énergie ≤ 0,8 x consommation énergie de la monoculture de maïs ; Flux N lessivé ≤ 0,7 x flux N lessivé de la monoculture ; I-Phy ≥ 1 + I-Phy de la monoculture ; Nombre de semaines de travail < 44

Le recours à un système de culture de référence est essentiel lorsque les résultats attendus (rendement, marge semi-nette) ne peuvent pas être définis en référence à une valeur seuil dans la mesure où ces critères sont sensibles à l'aléa climatique, ou à l'aléa des prix. Dans ces conditions, il permet d'interpréter l'écart entre le résultat obtenu et le résultat attendu en relatif à un système de référence. Il facilite aussi l'analyse des états de l'agroécosystème, l'explicitation des résultats obtenus et l'évaluation des performances du système testé pour l'ensemble des critères de la durabilité. Le système de culture de référence est également très utile en termes de communication et de valorisation

des résultats, car il correspond à un modèle actuel et dominant des systèmes de culture, qui a une signification pour chacun des acteurs (chercheur, conseiller ou agriculteur).

Plusieurs manières de définir le système de culture de référence sont envisageables, et sont utilisées par les différents expérimentateurs (Debaeke et al., 2008 ; Michel, 2010). Ce système de culture de référence peut correspondre :

- à un système de culture conduit en parallèle dans l'expérimentation, et défini pour correspondre au modèle dominant des pratiques actuelles des agriculteurs ;
- au système de culture initial, qui existait avant la mise en place de l'expérimentation, et sur lequel ont été déterminés les enjeux et objectifs prioritaires assignés au système de culture testé. Les pratiques de ce système ainsi défini peuvent être éventuellement réactualisées, selon les connaissances des praticiens locaux, pour tenir compte d'une évolution des réglementations et des intrants disponibles (par exemple, produits phytosanitaires homologués, formulation des engrais) ;
- au système de culture actuel de l'agriculteur, conduit en parallèle de l'expérimentation, pour le cas d'un dispositif en parcelle agricole, plus directement comparable du fait de la concordance de contexte (milieu, ressources, environnement technico-économique) ;
- à un système de référence défini par les acteurs locaux, sur la base de leurs connaissances techniques des pratiques actuelles dominantes dans la région, intégrant les observations et références régionales (observatoire de pratiques, bilan de campagne, faits marquants). Dans ce cas, le recours à l'expertise requiert une explicitation de la méthode utilisée pour connaître les éventuels biais.

Chacune de ces options peut être envisagée, en fonction des besoins exprimés mais également des moyens et des données disponibles pour définir ce système de culture de référence. Dans le cadre de l'analyse et de l'interprétation des performances de systèmes de culture testés dans un réseau de parcelles d'agriculteurs bourguignons, Michel (2010) a montré que le système de culture conduit sur le reste de l'exploitation n'est pas la référence la plus pertinente, puisque l'agriculteur fait évoluer ses pratiques en s'appropriant les éléments du système de culture innovant testé qui lui paraissent les plus pertinents, voire même fait évoluer les objectifs de son propre système de culture. Cette même étude a montré que le système de culture dominant défini par les acteurs locaux sur la base de leurs connaissances techniques ou le système de culture initial réactualisé peuvent être une bonne alternative. Ainsi, il est important lorsqu'on définit le système de culture de référence de bien expliciter la méthode utilisée et les sources d'informations. Comme pour la description du système de culture testé, il est primordial de décrire le système de culture de référence selon ses objectifs et ses résultats attendus ainsi que d'expliciter sa cohérence interne de manière à ce que ce système de culture de référence soit stable et n'évolue pas au cours du temps. Dans le cadre d'un réseau expérimental et d'une analyse commune des résultats, il est recommandé d'utiliser la même méthodologie de définition du système de culture de référence pour tous les dispositifs expérimentaux.

Ainsi, les performances du système de culture peuvent être évaluées soit par rapport à l'atteinte des objectifs qui lui sont assignés, par comparaison avec des résultats attendus spécifiés et quantifiés, soit par rapport aux performances d'un système de culture de référence. Ces deux manières d'évaluer les performances peuvent être utilisées conjointement. Le recours à un système de culture de référence peut également faciliter la compréhension et l'interprétation des résultats du système testé en améliorant la prise en compte du contexte pédoclimatique, de la variabilité annuelle du climat et des pressions biotiques, de la maîtrise technique du système de culture. Le recours à un système de culture de référence est indispensable dès lors que l'on se positionne dans une logique de réseau et que l'on souhaite analyser conjointement des systèmes de culture testés dans des contextes différents. Dans ce second cas, le recours au système de culture de référence permet de pouvoir distinguer, dans l'analyse

des performances des systèmes de culture, les effets liés au contexte de production de ceux liés aux systèmes de culture en tant que tels.

2.4. Protocoles de suivi et d'observations : pour décider, décrire, interpréter

Trois grands types d'observations et mesures sont indispensables à la conduite d'une expérimentation "système de culture" et à l'évaluation du système de culture testé (Debaeke et al., 2008) :

- les observations et mesures préalables à la prise de décision : elles informent sur l'état du système en temps réel, soit par observation directe, soit par observation déléguée (bulletin technique ou conseiller), soit après calculs ou simulations ;
- les interventions culturales réalisées avec les intrants utilisés, les réglages d'outil et les conditions d'interventions ;
- les observations et mesures permettant d'évaluer les résultats techniques, et les performances économiques, sociales et environnementales.

Les méthodes pour réaliser ces observations et mesures ne sont pas imposées au sein des réseaux expérimentaux. Un axe majeur d'animation du réseau d'expérimentations « système de culture » du RMT SdCi consiste à aider l'expérimentateur à choisir au mieux les méthodes qu'il mobilise sur son expérimentation, en fonction des objectifs assignés et des résultats attendus du système de culture expérimenté, mais aussi en fonction des difficultés d'interprétation des résultats rencontrés.

3. Méthodes et outils pour la mise en réseau opérationnelle d'expérimentations "système de culture"

La volonté de développer des réseaux d'expérimentation "système de culture", regroupant des expérimentations existantes et de nouvelles expérimentations, a conduit à développer des outils et méthodes opérationnelles afin (i) d'aider les expérimentateurs dans la mise en place et la conduite d'une expérimentation "système de culture", et (ii) de permettre l'analyse, le partage, la mutualisation et la capitalisation des résultats de ces expérimentations.

Le développement de ces outils, sur la base des acquis méthodologiques rappelés ci-dessus, a mobilisé les différents expérimentateurs des réseaux expérimentaux du RMT SdCi et du réseau RotAB. Ces méthodes et outils répondent d'autant mieux aux besoins qu'ils ont été conçus pour et avec des expérimentateurs "système de culture" (Encadré 1).

Dans le cadre du RMT SdCi, un **guide de l'expérimentation** a été élaboré pour capitaliser l'expertise du réseau et pour que chaque expérimentateur puisse s'y référer pour mettre en place ou conduire son expérimentation. Ce guide propose et décrit la démarche d'expérimentation "système de culture" (Figure 2). Il présente également l'ensemble des informations et des outils à disposition des expérimentateurs. Pour chacune des étapes de la démarche expérimentale, il précise les rôles à jouer, les tâches à réaliser et les outils disponibles pour les acteurs intervenant sur l'ensemble du processus expérimental.

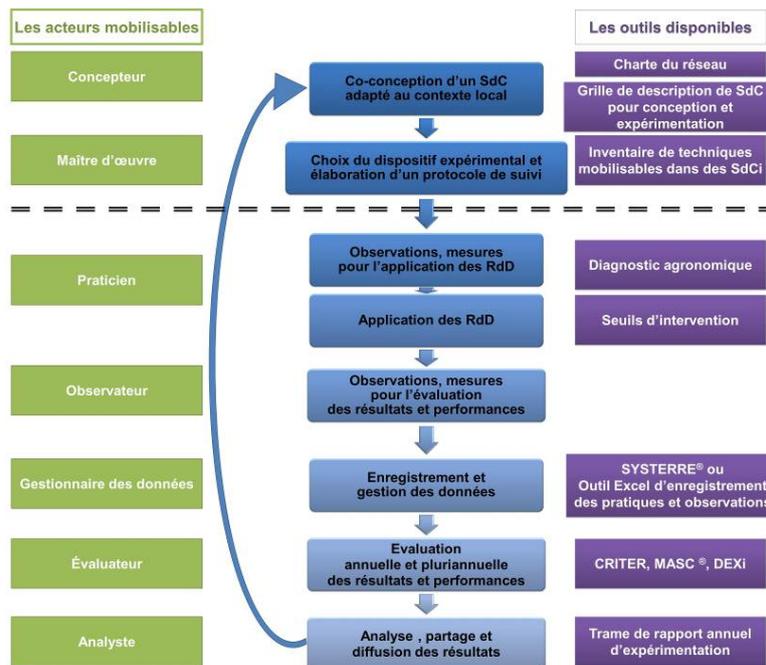


Figure 2 : Démarche expérimentale formalisée dans le cadre de la mise en réseau d'expérimentations "système de culture" du RMT "Systèmes de Culture Innovants", méthodes et outils associés

Différents outils opérationnels ont également été mis au point et proposés aux expérimentateurs :

- des outils pour aider à la conception du système de culture à expérimenter :
 - un *inventaire des techniques disponibles* pour la conception de systèmes de culture innovants : chaque technique, associée à une ou plusieurs cultures et enjeux, fait l'objet d'une fiche technique décrivant ses objectifs, ses caractéristiques, son mode d'action, un domaine de validité et un indice de confiance, son efficacité à atteindre les objectifs assignés, et ses effets agronomiques, environnementaux, économiques et sociaux, intentionnels ou non-intentionnels ; l'ensemble de ces fiches, bientôt disponible via l'outil web collaboratif Agro-PEPS (à venir sur www.systemesdecultureinnovants.org), constitue une ressource mobilisable aussi bien lors de la conception du système de culture, que lors de la mise œuvre pratique des techniques.
 - un *recueil de seuils d'intervention* rassemblant les références mobilisables pour les décisions d'interventions techniques : il propose des seuils d'intervention et des cadres de règles de décision pour chaque culture et par type de bioagresseurs cibles ; il propose également des grilles de notation servant à la caractérisation des pressions biotiques nécessaire à la prise de décision. Ce recueil, actuellement centré sur la thématique bioagresseurs, demande à évoluer vers un outil plus générique, rassemblant des règles de décision concernant l'ensemble de la gestion des systèmes de culture.
- une fiche de *description du système de culture testé* et du *dispositif expérimental associé* qui permet de préciser d'une part le(s) système(s) de culture testé(s) en décrivant les enjeux étudiés, les objectifs poursuivis et les résultats attendus, les principales stratégies de gestion et leviers agronomiques mis en œuvre, et d'autre part le dispositif expérimental mis en place (taille et nombre de parcelles, type de sol) et les observations et mesures effectuées ;
- un *recueil des observations à réaliser* pour analyser les performances agronomiques du système de culture testé : cet outil sert de guide à la réalisation d'un diagnostic agronomique

approfondi ; il récapitule les observations et les méthodes nécessaires pour établir le diagnostic agronomique qui permettra à l'expérimentateur d'expliquer et d'analyser *a posteriori* les résultats obtenus ;

- des *outils d'enregistrement de données*, permettant de stocker les données relatives aux pratiques agricoles réalisées et aux conditions d'interventions, aux observations et mesures d'états du milieu (états du sol, pressions biotiques) et aux résultats techniques du système de culture (rendement, qualité de la récolte) ; différents outils sont actuellement utilisés (SYSTERRE® développé par Arvalis-Institut du Végétal, fichier de saisie Excel proposé par la Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes, outils de gestion parcellaire propres à chaque partenaire). Un tronc commun des données à collecter sur les expérimentations a été défini afin de pouvoir réaliser des analyses transversales sur les résultats et performances des systèmes de culture testés dans le réseau ;
- une *trame de synthèse annuelle* pour présenter et analyser annuellement les résultats du système de culture : elle propose un cadre commun et formalisé pour accompagner le diagnostic agronomique porté sur chaque parcelle et pour structurer la rédaction des bilans annuels de campagne pour chaque expérimentation. Elle permet de capitaliser les événements marquants, l'interprétation des résultats et l'expérience partageable à l'échelle du réseau.

Dans le cadre du réseau RotAB, les outils opérationnels élaborés dans le cadre du projet et mis à disposition des expérimentateurs (membres ou pressentis) sont (Fourrié, 2011):

- des *fiches descriptives* des dispositifs expérimentaux, de leur conception, de leurs objectifs : la rédaction de ces fiches est une phase importante qui oblige à la rédaction de l'ensemble des règles de décision mises en œuvre sur un dispositif ;
- une *boîte à outils (BAO)*, pour aider les expérimentateurs à caractériser le système de culture et son évolution : dans le cadre du projet CASDAR 7055, la BAO a été centrée sur la fertilité des sols des parcelles expérimentales et son évolution ; cet outil a vocation à se développer : en plus du module fertilité, des modules conception, adventices et économie sont prévus.

3.1. Description harmonisée et classification des systèmes de culture

Tous les dispositifs expérimentaux et tous les systèmes de culture testés dans le cadre du RMT SdCi ont été décrits de manière harmonisée, via la fiche de description du système de culture testé et du dispositif expérimental associée proposée par l'équipe d'animation du réseau expérimental. Cette description est un prérequis à la participation au réseau expérimental. Elle a un double objectif de : (i) inciter chaque expérimentateur à décrire son expérimentation et le(s) système(s) de culture qu'il étudie, (ii) permettre à l'équipe nationale d'animation d'avoir une vision élargie des différentes composantes du réseau expérimental.

Les informations recueillies permettent également à l'équipe d'animation du réseau expérimental d'inventorier les expérimentations en place et de typer les systèmes de culture expérimentés pour avoir une meilleure image de la diversité des systèmes de culture testés dans le réseau.

Les informations sont également reprises pour rédiger des fiches descriptives plus concises qui visent à faire connaître chaque expérimentation au sein du réseau (Figure 3).

La même démarche de rédaction de fiche d'identité de chaque expérimentation a été adoptée dans le réseau RotAB, avec également un objectif de communication au sein et au-delà du réseau.

Fiche de description : SdC : BRIE COMTE ROBERT 77 Catégorie (typo) : PI-GC R2_Cr/Lga

CONTEXTE

- Essai en place depuis la campagne 2007-2008
- **Situation géographique** : Brie Comte Robert (77).
- **Climat** : Océanique dégradé (666 mm/an)
- **Type de sol** : Limon argileux sur plateau
- **Irrigation** Non

OBJECTIFS :

- Avoir un système de cultures économe en intrants et notamment en herbicides afin d'améliorer la qualité de l'eau
- Maintenir une rentabilité proche du système de culture actuel

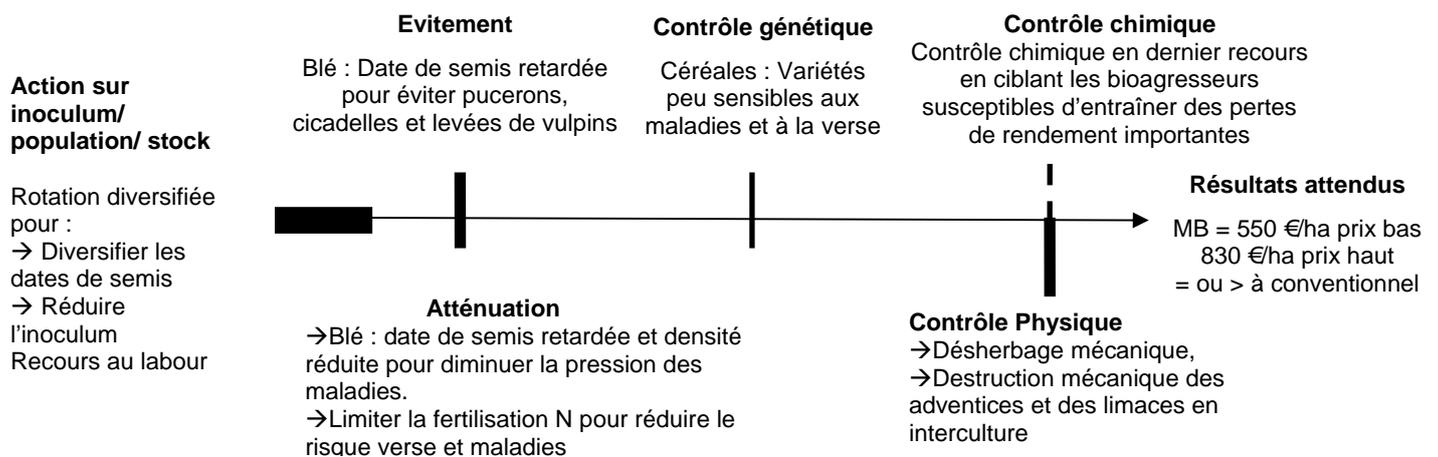
TRAITS

Féverole de printemps – blé – orge de printemps - colza - blé

Stratégies Principales	Maîtriser le stock d'adventices par une rotation comportant des cultures d'hiver (3/5) et des cultures de printemps (2/5), par le labour systématique sauf avant colza, par la pratique des faux semis. Recours au désherbage mécanique sur culture de pts : houe rotative (HR) ou herse étrille (HE). Modifications des dates de semis des cultures d'hiver : semis avancé pour le colza, retardé pour le blé. Fertilisation azotée calculée en prenant un objectif de rendement atteignable 4 années sur 5
Féverole 2008	Remplacement des herbicides par du désherbage mécanique (HR et HE). Contrôle des bioagresseurs les plus dommageables : rouille, pucerons et bruches
Blé 2009	Semis après le 15 octobre, densité réduite, variété peu sensible aux maladies et verse, désherbage chimique sortie hiver, un fongicide contre septoriose à DFE. Premier apport d'azote supprimé.
Orge pts 2010	Désherbage mécanique (HR et HE) et rattrapage en chimique si besoin. Variété peu sensible aux maladies et à la casse du col de l'épi : un fongicide maxi, pas de régulateur
Colza 2011	Date de semis classique, mélange avec une espèce gélive et une variété de colza précoce. Pas d'herbicides anti-dicotylédones, un anti-graminée si besoin, un fongicide contre sclérotinia, un seul insecticide contre Charançon de la Tige
Blé 2012	Semis après le 15 octobre, densité réduite, variété peu sensible aux maladies et verse, désherbage chimique sortie hiver. un fongicide maxi contre la septoriose, adapté selon pression maladie. Premier apport d'azote retardé ou supprimé selon RSH.

SYSTEME DE CULTURE DECISIONNEL : PROTECTION INTEGREE

	Adventices	Maladies Cryptogamiques	Ravageurs
Objectif (Dégâts-Dommages-Pertes)	Accepte leurs présences si elles n'entraînent pas de pertes économiques		
Résultats attendus	Contrôle des adventices, des maladies et des ravageurs les plus nuisibles dans chaque culture de la rotation. Marge Brute MB = 550 €/ha prix bas ou 830 €/ha prix haut, soit un résultat supérieur ou égal à un SdC conventionnel		



Commentaires : Le désherbage mécanique nécessite une phase d'apprentissage.

Figure 3 : Extrait de la fiche descriptive de l'expérimentation conduite au lycée agricole de Brie Comte Robert par la Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne et du système de culture testé

3.2. Dispositif expérimental, protocoles de suivi et d'observations

Chaque membre du réseau s'est engagé à conduire son expérimentation sur la durée d'au moins une rotation sur les mêmes parcelles. Il lui est demandé de réaliser des observations, mesures et enregistrements permettant de i) caractériser le milieu, ii) décrire les pratiques culturales depuis la récolte du précédent de la première culture jusqu'à la récolte de la dernière culture de la succession culturale, iii) mettre en œuvre les règles de décision mobilisées pour le pilotage du système de culture, et éventuellement les évaluer.

Pour aider les expérimentateurs dans le suivi des cultures et la réalisation d'un diagnostic agronomique, Diag'Agro a été développé. Cet outil recense, pour les grandes cultures, les observations à réaliser au cours du cycle cultural pour porter un diagnostic sur le rendement obtenu et juger la pertinence des règles de décision.

3.3. Supports et outils d'enregistrement pour une analyse commune des résultats

Actuellement deux supports permettent de collecter et rassembler les données des expérimentations du réseau d'expérimentations du RMT SdCi :

- des outils d'enregistrement des interventions techniques (pratiques culturales et conditions d'interventions) et de la récolte ;
- une trame de synthèse annuelle (Figure 4) qui, via un diagnostic agronomique approfondi, permet de capitaliser les résultats de l'année sur chaque parcelle. Ce document retrace le suivi des règles de décision : quels sont les écarts dans leur mise en œuvre ? Pour quelles raisons ? Quels sont les résultats obtenus en comparaison des résultats escomptés ?

Le regroupement et la lecture transversale des synthèses annuelles à l'échelle nationale permettront d'analyser les règles de décision appliquées et l'efficacité des combinaisons de techniques mobilisées dans les stratégies de gestion des systèmes de culture expérimentés dans le réseau. Lorsqu'une même règle de décision est appliquée sur plusieurs expérimentations, sa robustesse pourra être appréciée dans différents contextes, ainsi que l'efficacité, la pertinence et la polyvalence des solutions explicitées dans cette règle de décision. De plus, cette analyse suscitera des échanges entre les expérimentateurs.

L'enregistrement des interventions techniques permet le calcul des 32 critères de performances entrant dans l'évaluation par la méthode MASC® de la contribution de chaque système de culture au développement durable. L'analyse de la performance obtenue sur chaque critère d'évaluation peut se faire à trois niveaux :

- localement, en comparant sur chaque système de culture les performances obtenues par rapport aux objectifs visés et résultats attendus ;
- régionalement, en confrontant les performances des systèmes de culture d'une même région ayant des objectifs partagés et en les interprétant à la lumière des faits marquants de la campagne ;
- au niveau national, en comparant les performances des systèmes de culture ayant un ou plusieurs objectifs assignés similaires.

Les outils d'enregistrement et les bases de données associées doivent encore évoluer pour envisager l'alimentation d'une base de données unique par chaque membre du réseau permettant d'assurer, en un seul enregistrement, la collecte de données nécessaires au calcul des indicateurs de performance et le partage des analyses et interprétations des résultats de chaque campagne. Cette évolution devrait également faciliter la synthèse des résultats par l'équipe d'animation nationale. Néanmoins, le partage et l'analyse de données qualitatives, notamment les observations réalisées pour la mise en œuvre, le suivi et l'évaluation des règles de décision, restent difficiles à organiser.

BLE TENDRE d'HIVER précédent : FEVEROLE de PRINTEMPS	Rappel d'éléments de la règle de décision		Technique(s) réalisée(s) (date, dose...)	Ecart? Pourquoi ?	Avis sur la technique réalisée (conditions de réalisation, ...)	Objectif atteint ? Pourquoi?
	Objectif(s) à atteindre	Technique(s) prévue(s)				
Interculture Travail du sol et/ou couverts végétaux	Réussir les faux- semis et faire lever les adventices	2 à 3 déchaumages	3 déchaumages : début août : disque indépendant (JOKER) ; 30/08 et 19/09 : SMARAGD	Non	Pas de déchaumage mi- août car sol sec.	Oui
Implantation de la culture	Décaler la levée du blé de celle des vulpins, pour éviter des ravageurs d'automne et réduire des risques de maladies	Semis retardé pour éviter le pic de levée des vulpins et le risque cicadelles- puçerons	Semis le 14/10, combiné Herse rotative + semoir, 180 gr/m ²	Non	Bonnes conditions de semis	Oui
Fertilisation N	Pas de carence en azote pénalisant le rendement (objectif de rendement atteignable 4 ans/5) Réduire le risque de verse Eviter une croissance foliaire excessive créant un microclimat favorable aux maladies	Méthode des bilans Impasse ou retard 1 ^{er} apport	RSH : 58 U, conseil : 104 U 24/03 : 100 U en ammonitrate 27 28/04 : 40 U en ammonitrate 27	Non	L'apport au 24/03 a profité des pluies pour sa valorisation Un apport plus tardif d'une semaine aurait été mal valorisé en raison du sec d'avril.	Oui
Désherbage	Maitriser les peuplements de Ray- grass, tout en veillant aux risques de pollution des eaux par les herbicides	Retard de la date de semis. Pas d'urée substituée à l'automne. Intervention en sortie hiver avec programme renforcé contre ray-grass.	ATLANTIS 150 g + HUSSAR OF 0,5	Non	Bonne efficacité	Oui
Lutte Insectes et ravageurs	Maitriser les dommages dus aux puçerons et cicadelles en évitant la coïncidence du stade sensible de la culture et des vols	Retard date semis. Pas de pesticide.	Semis le 14/10	Non	Bonnes conditions de semis 1 ^{ers} pucerons le 15/10, peu de cicadelles	Oui
Lutte maladies	Minimiser les dommages de récolte	Rotation : impact maladie de pied et d'épi ITK Bas intrants : variété rustique, densité réduite de 30 % par rapport au conseil Chambre d'Agriculture, retard date de semis, retard ou suppression du 1 ^{er} apport Un seul fongicide à dernière feuille étalée	Précédent Féverole CAPHORN, semis 14/10 à 180 gr/m ² Suppression 1 ^{er} apport Fongicide : une seule intervention DFE le 13/05 : OPUS 0,5 + Pyros 0,7	Non	RAS, Année à très faible pression maladie	Oui

Figure 4 : Extrait de la synthèse annuelle de l'expérimentation conduite au lycée agricole de Brie-Comte Robert par la Chambre d'Agriculture de Seine et Marne. Campagne 2009-2010, blé tendre d'hiver, précédent féverole de printemps.

3.4. Fonctionnement et animation du réseau

Au préalable, une charte du réseau d'expérimentations du RMT SdCi a été définie, avec pour objectifs de définir (i) les règles de fonctionnement communes du réseau d'expérimentations, base minimum requise pour intégrer le réseau, (ii) quelques recommandations méthodologiques qu'il est souhaitable d'intégrer dans l'expérimentation de systèmes de culture. Elle pose le principe de mutualisation des outils, méthodes et expériences, entre membres, dans un cadre souple laissant à chacun des marges de manœuvre.

Afin de faciliter son fonctionnement et son animation, le réseau d'expérimentations "système de culture" du RMT SdCi a proposé une structuration en trois échelons distincts : local, régional et national. L'objectif principal de cette structuration est de favoriser les échanges d'informations et la communication au sein et entre les différents échelons, afin que les actions conduites à chaque échelon puissent bénéficier aux autres échelons, et réciproquement. La définition précise de l'identité et du rôle de chaque échelon (Tableau 4) doit permettre de garantir le bon fonctionnement du réseau. Cette structuration théorique a pour partie été mise en œuvre ; certaines propositions restent encore à concrétiser.

A titre d'illustration, la structuration du réseau régional en Poitou-Charentes, issu d'un programme régional conduit depuis 2007 sur le développement de systèmes de culture innovants et du programme CASDAR 7103 Systèmes de culture innovants, est présentée succinctement ici. Dans cette région, l'échelon régional joue un rôle important et comporte donc quelques spécificités (par exemple, participation du responsable régional à la co-conception des systèmes de culture à tester, rédaction des synthèses annuelles de chaque expérimentation). La répartition des rôles de chacun entre échelons peut différer selon les référents régionaux du réseau du RMT SdCi.

L'expérimentateur suit son expérimentation en binôme avec l'agriculteur et enregistre l'ensemble des données. Il peut également réaliser certains calculs simples d'indicateurs de performances (IFT, marge brute) qui ne demandent pas de compétences particulières en évaluation multicritère de système de culture. Il transmet les données de son expérimentation à l'échelon régional pour une valorisation des résultats par le calcul d'indicateurs complémentaires (économiques, environnementaux, sociaux et agronomiques). Les résultats individuels sont transmis en retour aux expérimentateurs et aux agriculteurs pour discussion et validation avant d'être compilés dans une synthèse régionale réalisée par le référent régional. Parallèlement, le référent régional réalise les synthèses annuelles à destination de l'équipe d'animation du réseau du RMT SdCi.

Les réunions régionales permettent aux expérimentateurs de prendre du recul, de discuter des difficultés rencontrées pour le suivi ou la conduite des expérimentations et d'échanger sur les premiers résultats obtenus au champ et sur les performances calculées des systèmes de culture. Ils bénéficient ainsi des résultats de l'ensemble des expérimentations de la région. La liste des indicateurs retenus a été définie lors de ces réunions. Ces réunions sont aussi l'occasion pour les expérimentateurs d'échanger sur (i) les règles de décision utilisées (difficultés de mise en œuvre, résultats obtenus par rapport aux résultats escomptés, ...), (ii) des techniques innovantes mises en œuvre (colza associé, cultures intermédiaires, désherbage mécanique, ...), (iii) les résultats et performances des SdC testés.

A l'échelon national, l'évaluation des systèmes de culture se fait d'abord par la caractérisation à l'aide de critères de performances (avec l'outil CRITER développé par l'INRA par exemple) puis l'évaluation multicritère des performances de durabilité des systèmes de culture expérimentés est réalisée avec la méthode MASC®. L'équipe d'animation nationale apporte un soutien méthodologique pour l'évaluation des systèmes de culture, voire contribue à la réalisation des évaluations. Elle synthétise et valorise l'ensemble des résultats acquis dans le réseau.

Ce travail d'évaluation des performances des SdC est en cours de réalisation dans le cadre du programme 2011-2012 du RMT SdCi. A terme, il s'agira de réaliser des synthèses transversales par

enjeu et objectif (réduction d'utilisation des pesticides, systèmes de culture économes en énergie, ...) ou contextes (ex. systèmes sur limon profond, ...) et d'identifier, pour les systèmes de culture les plus performants, les déterminants de leur réussite, c'est-à-dire les combinaisons des différentes techniques culturales utilisées et les règles de décision mobilisées.

Ainsi, l'organisation et le mode de fonctionnement du réseau expérimental du RMT SdCi choisis par les partenaires reposent sur une organisation collaborative, chaque échelon apportant sa pierre à l'édifice et bénéficiant en retour du travail des autres échelons et groupes de travail. Ils reposent sur l'autonomie des expérimentateurs, la confiance réciproque entre acteurs et le respect des délais et des engagements contingents à la vie d'un réseau.

Tableau 4 : Définition de chaque échelon d'organisation du réseau expérimental du RMT SdCi et de leurs rôles respectifs

	Constitution	Rôles
Echelon Local	Expérimentateur, et ses interlocuteurs locaux, sur un site expérimental	L'expérimentateur : <ul style="list-style-type: none"> - suit son essai (avec l'agriculteur le cas échéant), enregistre les pratiques, observations et résultats techniques ; - analyse les résultats de l'année : règles de décision mobilisées pour la mise en œuvre du système de culture, performances obtenues par le calcul d'indicateurs, - diffuse ses résultats auprès des acteurs locaux (agriculteurs, conseillers...) ; - réalise les synthèses annuelles pour le RMT SdCi ; - diffuse les résultats aux groupes d'agriculteurs du département : visites d'expérimentations, formations ; - participation aux séminaires du RMT SdCi et aux groupes de synthèse.
Echelon Régional	Groupe d'expérimentateurs d'une zone géographique définie : <ul style="list-style-type: none"> - soit une région administrative (ex : Poitou-Charentes), - soit un regroupement d'expérimentations géographiquement proches (ex : groupe Aube, Marne et Ile de France). Le groupe est animé par un référent régional.	Le référent régional : <ul style="list-style-type: none"> - organise et anime son groupe avec des réunions sur site d'expérimentation ou en salle entre les expérimentateurs afin de favoriser l'échange d'informations et d'expériences, et de conforter les prises de décisions sur les expérimentations ; - est personne-ressource pour expliquer et aider à l'utilisation des outils du RMT SdCi (enregistrement des données, rédaction des synthèses annuelles) ; - collecte les synthèses annuelles de chaque expérimentation en fin de campagne ; - assure la qualité et l'homogénéité des données acquises (vérification) avant de les transmettre à l'échelon national ; - garantit le recueil de toutes les données nécessaires pour l'évaluation multicritère et est garant des délais imposés par la « vie » du réseau ; - communique les résultats aux financeurs, instituts régionaux, administrations et assure leur valorisation via des formations notamment ; - participe aux séminaires du RMT SdCi et aux groupes de synthèse.
Echelon National	Groupe d'animation et de synthèse composé de personnes issues des organismes partenaires du RMT SdCi.	Le groupe de synthèse : <ul style="list-style-type: none"> - anime le réseau : recense les besoins des expérimentateurs, favorise les contacts et échanges (connaissance mutuelle) ; - élabore et met à disposition les supports techniques utilisés pour l'enregistrement et la réalisation des synthèses annuelles sur chaque expérimentation ; - homogénéise l'information collectée au niveau des sites expérimentaux ; - réalise les caractérisations des systèmes de culture avec CRITER et les évaluations multicritères avec MASC® des systèmes de culture expérimentés dans le réseau selon une méthodologie commune ; - réalise des synthèses transversales ; - diffuse l'information et les outils élaborés auprès des expérimentateurs du réseau.

4. Les réseaux d'expérimentation de systèmes de culture en parcelles : RMT "Systèmes de Culture Innovants" et RotAB

Le réseau d'expérimentations en parcelle de systèmes de culture du RMT SdCi s'est structuré dès la labellisation du RMT SdCi, en 2007, en regroupant les dispositifs expérimentaux déjà existants des différents partenaires. Il a été complété régulièrement par la mise en place de nouveaux dispositifs expérimentaux. Il compte à ce jour 44 dispositifs expérimentaux sur lesquels sont expérimentés 70 systèmes de culture.

De plus, un réseau d'expérimentations "système de culture" en grande culture sans élevage en agriculture biologique a été formalisé en 2008 avec le projet CASDAR RotAB. Il compte à ce jour 5 dispositifs expérimentaux (Fourrié et al., 2011). Ce réseau s'est aussi construit avec la volonté de ses partenaires de collaborer autour d'expérimentations "système de culture" existantes et d'une question commune : quelle évolution et comment maintenir la fertilité des sols dans des systèmes de grande culture biologique sans élevage ?

Une grande diversité de contextes pédoclimatiques et de contextes de production est représentée dans ces réseaux (Figure 5), même si la plupart des dispositifs se situent dans la partie Nord de la France.

Deux principaux types de dispositifs expérimentaux sont mobilisés au sein de ces réseaux de manière complémentaire. Certains dispositifs sont conduits en station expérimentale (dispositifs gérés par les instituts techniques, ou l'INRA, voire certaines Chambres d'Agriculture), d'autres sont conduits en parcelles d'agriculteurs (dispositifs gérés par les Chambres d'Agriculture majoritairement) ou dans des exploitations de lycées agricoles.

Les compétences et expériences acquises par les expérimentateurs, dans ces deux grands types de dispositifs expérimentaux, sont complémentaires. La mise en réseau des dispositifs permet d'échanger sur les méthodologies utilisées, les difficultés rencontrés et les succès, tout en harmonisant certains éléments des protocoles, afin d'envisager une valorisation commune et transversale de ces dispositifs.

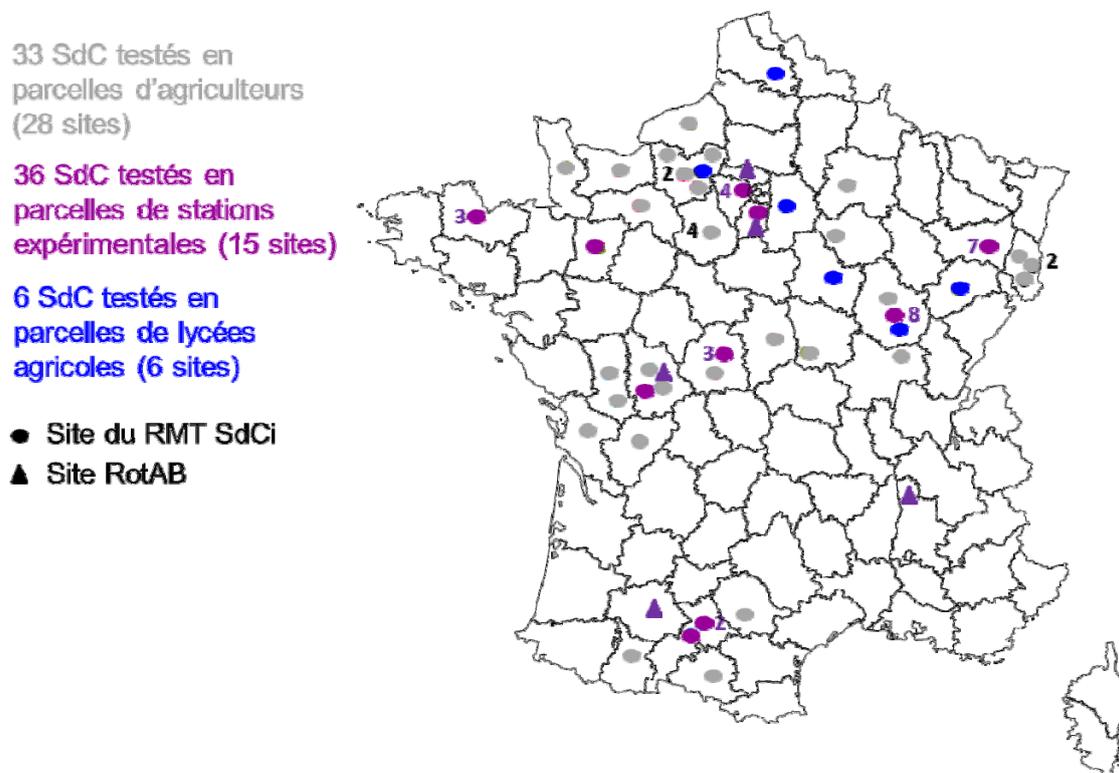


Figure 5 : Carte de répartition des sites expérimentaux du réseau expérimental du RMT "Systèmes de Culture Innovants", et du réseau RotAB, par type de dispositif expérimental

Même si chacun des systèmes de culture expérimentés au sein de ces réseaux a été conçu pour répondre à des enjeux et des objectifs locaux, ils répondent tous à une des quatre grandes orientations suivantes (Figure 6) (Reau et al., 2010 ; Fourrié et al., 2011) :

- **Production Intégrée en Grande Culture (PI – GC)** : système de culture composé de cultures de vente et mettant en œuvre les stratégies et tactiques de gestion de la production intégrée, avec pour objectifs prioritaires de réduire l'utilisation des intrants azotés et pesticides pour limiter leurs impacts et améliorer la qualité des eaux ;
- **Production Intégrée en Polyculture-Elevage (PI –Elv)** : système de culture incluant dans sa succession des cultures fourragères, annuelles ou pluriannuelles, ou système de culture ayant un lien fort avec un atelier d'élevage (contrainte de fourniture en paille ou en fourrage, valorisation d'engrais organiques) ; tous mobilisent aussi des stratégies et tactiques de gestion de la production intégrée, avec pour objectifs prioritaires de réduire l'utilisation des intrants azotés et des pesticides pour limiter leurs impacts et améliorer la qualité des eaux ;
- **Hautes Performances énergétiques (HP NRJ & GES)** : système de culture dont les stratégies et tactiques de gestion mises en œuvre visent à réduire la consommation d'énergie et/ou à améliorer l'efficacité énergétique, et/ou à réduire les émissions de gaz à effet de serre ;
- **Grandes cultures biologiques sans élevage** : système de culture en agriculture biologique dont les stratégies et tactiques de gestion mises en œuvre visent à maintenir la fertilité des sols dans des systèmes sans élevage (ayant un accès limité voire nul à des matières organiques exogènes et ayant peu, voire pas de cultures fourragères pluriannuelles dans la succession culturale) : ces systèmes de culture, mis en réseau dans RotAB, combinent des leviers agronomiques (succession et choix des cultures en premier lieu) pour maintenir la fertilité des sols et maîtriser la flore adventice.

Certains systèmes de culture, auxquels sont assignés des objectifs prioritaires et des objectifs secondaires, peuvent être rattachés à plusieurs orientations.

A l'intérieur de ces grands types définis selon l'enjeu prioritaire assigné au système de culture, les caractéristiques des 75 systèmes de culture ont été précisées en considérant la présence ou non d'une légumineuse, annuelle ou pluriannuelle, dans la succession culturale visant à réduire le recours aux engrais azotés de synthèse et la durée de la succession culturale (étroitement liée au nombre de cultures autres que les céréales) afin de créer des sous-classes typologiques.

Le réseau expérimental du RMT SdCi explore avant tout l'intérêt de systèmes de culture basés sur des successions culturales longues et diversifiées valorisant souvent une légumineuse dans la perspective de tester des systèmes prometteurs en matière de production intégrée comme de hautes performances énergétiques. En outre, les stratégies de travail du sol font généralement l'objet d'une attention particulière, pour gérer le stock semencier d'adventices et les inoculum d'autres bioagresseurs, comme pour réduire les coûts en énergie fossile, les émissions de gaz à effet de serre, et limiter les pointes de travail liées à la préparation de sol (Reau et al., 2010).

La typologie a ainsi permis de classer les 70 systèmes de culture testés dans le réseau expérimental du RMT SdCi, ainsi que les 5 systèmes de culture testés dans le réseau expérimental RotAB. Comme pour toute typologie, il est parfois difficile de classer un système de culture, soit parce qu'il présente une forte typicité justifiant qu'il mérite un type à lui seul, soit parce qu'il pourrait être positionné dans plusieurs types du fait de la diversité des objectifs qui lui sont assignés. De plus, cette typologie a été travaillée sur la base de l'existant et pourrait être remise en cause par de nouvelles expérimentations testant des systèmes de culture aux thématiques nouvelles (Zéro pesticide, biodiversité, pollinisateur...), ou par un rapprochement encore plus important des réseaux expérimentaux existants.

Encadré 1 : Paroles d'expérimentateurs

Questions posées à Anne Schaub (Association pour la Relance Agronomique en Alsace) et à Sébastien Piaud (Chambre d'Agriculture de Seine et Marne) :

- En tant que personne chargée de suivre une ou des expérimentations « système de culture », quels bénéfices et enseignements tirez-vous de votre participation au réseau expérimental « système de culture » du RMT SdCi ?
- Quelles sont selon vous les conditions de réussite d'un tel réseau ?

AS : La mixité du réseau (INRA, Instituts Techniques, organismes de développement, Enseignement et formation) permet de regrouper des expertises, des connaissances et des compétences complémentaires. Les échanges favorisent petit à petit l'acquisition d'une culture commune sur l'expérimentation "système de culture" partagée par tous les participants. Ces échanges et l'acquisition de nouvelles compétences m'ont aidée localement pour mes essais "système de culture". Lorsque l'ARAA a souhaité mettre en place ce type d'expérimentation, je me suis naturellement engagée dans le RMT SdCi. L'acquisition de nouvelles compétences grâce au réseau m'a été très utile pour concevoir, mettre en place, suivre mes expérimentations et évaluer les SdC que je teste. Les échanges ont lieu lors de rencontres régulièrement organisées ou lors de contacts en dehors du cadre du réseau. Connaître les expérimentations des collègues, leur contexte et leurs thématiques, permet de cibler les expérimentateurs à contacter quand une question particulière se pose, et de gagner ainsi du temps dans la résolution de ce problème ou d'améliorer la solution envisagée par un échange, plus productif et fiable qu'une réflexion isolée.

Un autre avantage du travail en réseau et de l'affichage du partenariat est de donner plus de crédibilité au travail réalisé et aux résultats obtenus sur chaque essai.

SP : En intégrant un réseau expérimental, on souhaite y trouver des outils tout faits, à adapter aux besoins locaux. Certaines méthodes d'observations ou de mesures éprouvées dans des expérimentations plus anciennes peuvent être proposées au collectif afin de pouvoir harmoniser les observations et mesures et permettent la mise en commun de résultats. Par exemple, j'utilise la méthode proposée par l'INRA de Dijon pour suivre l'évolution de la flore d'adventice dans les parcelles expérimentales. Cette méthode a été diffusée auprès de tous les expérimentateurs du réseau. Cependant, on s'aperçoit vite qu'il reste encore beaucoup de questions méthodologiques. On participe alors à la création de méthodes et d'outils, ce qui a l'avantage de permettre de mieux se les approprier.

La richesse d'un réseau d'expérimentations est déterminée par ce que ses participants ont choisi d'en faire : un moyen d'échanger et de produire des références en partenariat. Pour le maintien de la dynamique du réseau et pour garantir sa pérennité, chaque participant doit s'engager à contribuer activement au réseau, sous condition que le réseau lui apporte également une plus-value par rapport à ses propres activités. Ainsi, le réseau ne doit pas être considéré par ses participants comme un « marché » où l'on viendrait consommer des outils sans contrepartie, mais au contraire comme un lieu d'échanges, de partage de connaissances et de compétences, de création en commun de démarches, méthodes et outils, et de production commune auquel chaque participant apporte sa « pierre à l'édifice ».

AS : Intégrer le réseau impose des devoirs, en termes de qualité d'expérimentation (type et fréquence d'observations par exemple), d'exigences en termes de restitution des résultats annuels (documents type à compléter, avec des analyses obligatoires comme l'écart aux règles de décision) et de délai de retour des documents. Ces contraintes sont aussi une opportunité pour l'expérimentateur, car elles l'obligent à davantage de rigueur et de qualité.

La mise en réseau d'expérimentations permet d'aller au-delà de ce qu'on aurait pu accomplir seul et de donner un autre éclairage à des résultats obtenus localement. En effet, l'analyse transversale de résultats obtenus et analysés dans des contextes différents apporte une valeur ajoutée aux résultats de chaque expérimentation. La confrontation des résultats des essais interpelle et soulève de nombreuses questions, elle nous incite à identifier des voies d'approfondissement de certains sujets.

SP : Le réseau d'expérimentateurs est un réseau professionnel qui développe des actions communes sur les systèmes de culture innovants en dehors du cadre officiel du RMT. Le RMT a facilité la prise de contact entre ces personnes et l'émergence d'autres projets. La Chambre d'Agriculture de Seine et Marne, par exemple, organise chaque année les journées « production intégrée » en mobilisant son carnet d'adresses enrichi des contacts du RMT SdCi.

AS : Participer à l'effort de création est une nécessité et doit s'inscrire dans la durée. Le réseau, tel un arbre, met quelques années avant de produire des fruits. Par exemple, si aujourd'hui, j'utilise des outils comme CRITER et MASC® pour évaluer des systèmes de culture avant la mise en place d'une expérimentation prochainement dans le Bas-Rhin, c'est parce que le projet ADAR de 2005 puis le CASDAR 7103 de 2008-2010 et le RMT SdCi ont permis à ces outils de voir le jour. C'est un travail de longue haleine, et si l'on souhaite récolter encore des fruits, comme l'analyse transversale des performances des systèmes de culture testés dans le réseau expérimental, il faut continuer à entretenir l'arbre. La dynamique a été enclenchée et le chantier en cours ne doit pas s'arrêter.

SP et AS : Pour conclure, participer activement aux travaux du réseau exige du temps à y consacrer, qui entre en conflit avec les missions locales des expérimentateurs. Les chantiers du RMT avancent sûrement, mais lentement, ce qui peut être source d'insatisfactions. Cependant la participation des expérimentateurs aux travaux du réseau sans financement dédié aujourd'hui souligne l'intérêt qu'ils y trouvent. Le réseau est avant tout pour eux un moteur, une source d'inspiration et de motivation. Toutefois, si des financements étaient disponibles pour faciliter cette participation, l'arbre RMT SdCi produirait plus rapidement.

Conclusion

L'expérimentation "système de culture" est une étape essentielle du processus itératif de conception-évaluation de systèmes de culture. Etant donnée la lourdeur de sa mise en place et de sa conduite, ce type d'expérimentation pluriannuelle vise principalement à évaluer *ex post* les systèmes de culture les plus prometteurs, aussi bien en termes de faisabilité technique et de cohérence agronomique qu'en termes de résultats agronomiques, techniques et de performances économiques, sociales et environnementales. Ce type d'expérimentation est également un lieu d'échanges interdisciplinaires très utiles pour partager des connaissances et des compétences entre partenaires de la recherche, du développement et de la formation.

Initialement, l'expérimentation "système de culture" se pratiquait surtout en station expérimentale ; mais ces dernières années, elle s'est développée dans les organismes de développement et de formation et est désormais conduite en parcelles agricoles chez des agriculteurs ou en lycée agricole. Cela a suscité des besoins d'échanges et de mise en commun de méthodes et d'outils entre les expérimentateurs "système de culture" et la volonté de travailler en réseau, comme par exemple au sein du réseau d'expérimentations "système de culture" du RMT SdCi ou du réseau RotAB. Forts d'un certain nombre d'acquis méthodologiques pour la mise en place et la conduite d'expérimentations "système de culture", ces réseaux se sont structurés et ont conçu des outils et méthodes opérationnels, avec et pour les expérimentateurs, permettant d'une part d'améliorer les compétences locales et de faciliter la conduite des expérimentations "système de culture", et d'autre part d'envisager une analyse commune des données et résultats produits sur chaque expérimentation dans le but de produire des références sur les performances des systèmes de culture utiles pour le conseil et la formation.

La mise en réseau d'expérimentations « système de culture » permet également à chacun de ses participants de bénéficier d'un regard extérieur sur ses activités propres et d'avoir des interlocuteurs qu'il ne peut pas forcément trouver localement. Ces bénéfices sont difficilement quantifiables, mais sont bien réels et d'autant plus importants que la valorisation d'une expérimentation "système de culture" n'est pas immédiate, puisque l'échelle temporelle de travail est le moyen-long terme.

Maintenant que les réseaux d'expérimentations "système de culture" se sont structurés, il est essentiel de maintenir la dynamique de groupe initiée et d'intensifier les travaux d'analyse transversale des résultats et des performances de systèmes de culture produits dans chacun des dispositifs expérimentaux.

Ces réseaux expérimentaux sont un atout majeur pour envisager la production de connaissances et de références sur les résultats et performances des systèmes de culture, ainsi que sur leurs déterminants. Des méthodologies et des outils pour l'évaluation des performances des systèmes de culture ont été développés et sont mis en œuvre localement. Ils permettent de fournir des références locales utiles aux actions de développement et de formation. Il s'agit ensuite d'envisager l'interpolation de ces résultats entre différents systèmes de culture, similaires en termes d'objectifs, de résultats attendus et de stratégies de gestion mais testés dans des contextes de production distincts. Ce type d'analyse des résultats et performances permet de juger de la capacité et de la robustesse des systèmes de culture à répondre à un enjeu donné dans une diversité de contextes et d'identifier les systèmes de culture performants et innovants. Pour permettre l'utilisation de ces références produites localement plus largement pour le conseil et la formation, une autre étape consiste à identifier les conditions favorables aux systèmes de culture performants pour envisager l'extrapolation des résultats obtenus à des contextes autres que ceux dans lesquels les systèmes de culture ont été expérimentés. Pour cela, l'identification des déterminants des performances des systèmes de culture est nécessaire et la modélisation peut constituer un outil important et complémentaire, permettant d'explorer différents scénarios. Cela ne pourra tout de même pas se substituer à l'adaptation par l'agriculteur d'un nouveau système de culture à son propre contexte. Au-delà de l'analyse, il s'agit de produire des références sur les SdC innovants et performants sous la forme de ressources utiles pour l'action, le conseil et la

formation. Pour cela, les expérimentateurs, les animateurs régionaux et l'équipe d'animation doivent travailler à proposer une ou des modalités de présentation des références facilement appropriables et mobilisables par une diversité d'acteurs en mobilisant l'ergonomie et la didactique professionnelle.

Une première approche d'analyse commune de résultats et performances de systèmes de culture testés dans le RMT SdCi a été entreprise. Elle soulève des questions méthodologiques auxquelles le réseau devra s'intéresser : comment formaliser, mettre en œuvre et analyser des règles de décision pour piloter et gérer des SdC basés sur des stratégies de gestion similaires mais mis en œuvre dans des contextes différents ? Comment analyser des données de dispositifs expérimentaux différents (nombre de répétitions et de campagnes différent,...) ? Comment tenir compte de la diversité des contextes de production et des potentialités de milieux dans lesquels sont testés les systèmes de culture ? Quels SdC de référence retenir ? Comment intégrer dans une analyse transversale le fait que les systèmes de culture n'ont pas tous été conçus pour répondre aux mêmes enjeux et selon un même cadre d'objectifs et de contraintes ? Comment, à partir des données, résultats et performances relatifs aux SdC testés au champ produire des références, ressources utiles pour l'action, le conseil et la formation ?

La dynamique du réseau et la qualité des échanges initiés jusqu'alors sont autant d'atouts pour envisager de pouvoir conduire ces réflexions et travaux en partenariat, en bénéficiant des compétences et des idées des acteurs de la recherche, du développement et de la formation engagés et mobilisés dans le RMT Systèmes de Culture Innovants.

Remerciements

- à l'ensemble des expérimentateurs du réseau expérimental du RMT "Systèmes de Culture Innovants" et plus particulièrement toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration des outils suivants :
 - le guide de l'expérimentateur : André Chabert (ACTA), Caroline Colnenne (INRA), Perrine Dumans (CETIOM), Olivier Guérin (Chambre d'Agriculture de Charente-Maritime), Daphné Lelay (EPLEFPA Dijon-Quétigny), Clothilde Toqué (Arvalis – Institut du végétal) ;
 - l'outil "diagnostic agronomique" : Aimé Blatz (INRA), André Chabert (ACTA), Perrine Dumans (CETIOM), Michael Geloën (Chambre d'Agriculture de la Nièvre), Olivier Guérin (Chambre d'Agriculture de Charente-Maritime), David Justeau (Chambre d'Agriculture de l'Aube), Jean-Luc Giteau (Chambre d'Agriculture de Bretagne), Annie Le Gall (Chambre d'Agriculture de l'Indre), Daphné Le Lay (EPLEFPA Dijon-Quétigny), Nicolas Munier-Jolain (INRA), Bertrand Omon (Chambre d'Agriculture de l'Eure) ;
 - les outils d'enregistrement, les outils et méthodes d'évaluation (tableur « landaise » du RMT « Systèmes de Culture Innovants », outils excel de Poitou Charentes, SYSTERRE®, CRITER et MASC®) : Emeric Emonet (Arvalis – Institut du végétal), Gabriele Fortino (INRA), Mélissa Dumas (INRA) et Thierry Doré (INRA / AgroParisTech).
- aux expérimentateurs du réseau RotAB du programme CASDAR 7055.
- au Réseau PIC (Protection Intégrée des Cultures) de l'INRA
- à Nicolas Munier-Jolain (INRA) pour les idées échangées autour de cet article

Cette communication, les résultats et travaux qui y sont présentés ont été réalisés dans le cadre du Réseau Mixte Technologique Systèmes de culture innovants sur la période 2007-2011.

Nous remercions particulièrement le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire pour son soutien financier au RMT Systèmes de culture innovants et au programme CASDAR 7103 Systèmes de culture innovants, via le compte d'affectation spéciale développement agricole et rural (CASDAR).

Références bibliographiques

- Bergez J.-E., Colbach N., Crespo O., Garcia F., Jeuffroy M.-H., Justes E., Loyce C., Munier-Jolain N., Sadok W., 2010. Designing crop management systems by simulation. *European Journal of Agronomy* 32, 3-9.
- Chikowo, R., Faloya, V., Petit, S., Munier-Jolain, N.M., 2009. Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agricultural Ecosystem and Environment*, 132, 237-242.
- Collectif, 1995. Ensemble méthodologique pour l'étude des règles de décision, des itinéraires techniques et des systèmes de culture. ACTA, AGPM, CETIOM, ITCF, Ministère de l'agriculture et de la pêche.
- Debaeke P., Doré T., Viaux P., 1996. Production de références sur les successions de cultures. In *Expérimenter sur les conduites des cultures. Un nouveau savoir-faire pour une agriculture en mutation*. Ministère de l'agriculture, Acta, Comité potentialités, pp 87-98.
- Debaeke P., Petit M.-S., Bertrand M., Mischler P., Munier-Jolain N., Nolot J.-M., Reau R., Verjux N., 2008. Evaluation des systèmes de culture en stations et en exploitations agricoles : où en sont les méthodes. In Reau R., Doré T., (Eds.) 2008. *Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Educagri, Dijon, France.
- Debaeke P., Munier-Jolain N.M., Bertrand M., Guichard L., Nolot J.M., Faloya V., Saulas P., 2009. Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems: methodology and case studies. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 73-86.
- Deytieux, V., Nemecek, T., Knuchel, R.F., Gaillard, G., Munier-Jolain, N.M., 2012. Is Integrated Weed Management efficient for reducing environmental impacts of cropping systems? A case study based on life cycle assessment. *European Journal of Agronomy*, 36, 55-65.
- Fourrié L., Fontaine L., Celette F., Mangin M., 2011. Mise en réseau d'expérimentations « systèmes » en AB : relier les disciplines, relier les acteurs. In : *Les transversalités de l'Agriculture Biologique*. DevAB / SFER, Strasbourg, pp. 575-593.
- Lançon J., Wery J., Rapidel B., Angokaye M., Gérardaux E., Gaborel C., Ballo D., Fadegnon B., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agronomy for Sustainable Development* 27, 101-110.
- Lançon J., Reau R., Cariolle M., Munier-Jolain N., Omon B., Petit M.-S., Viaux P., Wéry J., 2008. Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. In : Reau R., Doré T., (Eds.) 2008. *Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Educagri, Dijon, France.
- Loyce C., Wery J., 2006. Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture. In: Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (Eds), *L'agronomie aujourd'hui*, INRA, Paris, pp 77-95.
- Meynard J.-M., Reau R., Robert D., Saulas P. 1996. Evaluation expérimentale des itinéraires techniques. In : *Expérimenter sur les conduites des cultures. Un nouveau savoir faire pour une agriculture en mutation*. Ministère de l'agriculture, Acta, Comité potentialités, pp 63-72.
- Meynard J.-M., Doré T., Lucas P., 2003. Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *Comptes Rendus Biologies* 326, 37-46.
- Michel D., 2010. Evaluation et synthèse d'expérimentations au champ de systèmes de culture innovants. Comparaison de systèmes de référence. Etude de relations entre critères d'évaluation. *Mémoire AgroParisTech*. 49 p.
- Munier-Jolain N., Deytieux V., Guillemain J.P., Granger S., Gaba S., 2008. Conception et évaluation multicritères de prototypes de systèmes de culture dans le cadre de la Protection Intégrée contre la flore adventice en grandes cultures. *Innovations Agronomiques* 3, 75-88.
- Nolot J.-M., Debaeke P., 2003. Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. *Cahiers Agriculture* 12, 387-400.
- Reau R., Meynard J.M., Robert D., Gitton C., 1996. Des essais factoriels aux essais "conduite de culture". In : *Expérimenter sur les conduites de cultures: un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation*. Ministère de l'agriculture, Acta, Comité potentialités, p. 52-62.

Reau R., Doré T., 2008. Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri Dijon, France. 175 p.

Reau R., 2009. Conception d'un réseau d'acquisition de références et d'un réseau d'information. Ecophyto R&D. Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires. Ed. INRA, t. VIII, 100 pages.

Reau R., Coulon T., Faloya V., Jeannequin B., Petit M-S., Plénet D., Verjux N., 2009. Inventaire des dispositifs d'acquisition de références existants. In : Ecophyto R&D. Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires. Ed. INRA, t. VIII, 100 pages.

Reau R., Mischler P., Petit M.S., 2010. Evaluation au champ des performances de systèmes innovants en cultures arables et apprentissage de la protection intégrée en fermes pilotes. Innovations Agronomiques 8, 83-103.

Sadok W., Angevin F., Bergez J., 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.

Sébillotte M., Soler L.G., 1988. Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur. C.R. Acad. Agric. Fr. 74, 59-70.

Vereijken P., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. Eur. J. Agron. 7, 235-250.