



**HAL**  
open science

## Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs

Raymond Reau, Laure-Amélie Monnot, A. Schaub, Nicolas Munier-Jolain, I. Pambou, Christian C. Bockstaller, M. Cariolle, A. Chabert, P. Dumans

### ► To cite this version:

Raymond Reau, Laure-Amélie Monnot, A. Schaub, Nicolas Munier-Jolain, I. Pambou, et al.. Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. *Innovations Agronomiques*, 2012, 20, pp.5-33. hal-01019030

**HAL Id: hal-01019030**

**<https://hal.science/hal-01019030>**

Submitted on 29 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

## Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs<sup>1</sup>

Reau R.<sup>1</sup>, Monnot L.A.<sup>2</sup>, Schaub A.<sup>3</sup>, Munier-Jolain N.<sup>4</sup>, Pambou I.<sup>5</sup>, Bockstaller C.<sup>6</sup>, Cariolle M.<sup>7</sup>, Chabert A.<sup>8</sup>, Dumans P.<sup>9</sup>

<sup>1</sup> INRA UMR Agronomie 211, BP1, F-78850 Thiverval-Grignon,

<sup>2</sup> Etudiante SupAgro Montpellier, INRA Agronomie-E&A-SAD, BP1, F-78850 Thiverval-Grignon

<sup>3</sup> Association pour la relance agronomique en Alsace, BP30022, F-67013 Strasbourg

<sup>4</sup> INRA UMR Biologie et gestion des adventices 1210, BP86510, F-21065 Dijon

<sup>5</sup> Chambre d'agriculture de Maine-et-Loire, 14 avenue Jean Joxé, F-49006 Angers

<sup>6</sup> INRA UMR Agronomie Environnement 1121, BP 20507, F-68021 Colmar

<sup>7</sup> ITB, 45 rue de Naples, F-75008 Paris

<sup>8</sup> ACTA, 1 avenue Claude Bourgelat, F-69280 Marcy-l'Etoile

<sup>9</sup> CETIOM, BP 4, F-78850 Thiverval-Grignon

Correspondance : [raymond.reau@grignon.inra.fr](mailto:raymond.reau@grignon.inra.fr)

### Résumé

Les ateliers de conception ont pour but de construire des systèmes de culture innovants (SdCi) en vue d'atteindre des objectifs renouvelés orientés vers des enjeux émergents, puis d'évaluer *a priori* leurs performances selon les priorités des agriculteurs, des filières, et de la société

Il s'agit alors d'estimer ceux qui sont prometteurs et éventuellement de préparer leur mise en œuvre au champ à court ou moyen terme

La première étape consiste à se focaliser sur un petit nombre d'objectifs simples en précisant les résultats visés lors de la conception. Le groupe inventorie ensuite les techniques mobilisables et construit les SdCi par combinaison de techniques et de cultures existantes, autant que par l'introduction de techniques et de cultures nouvelles. Il décrit d'abord le système de culture dans ses grands principes, puis selon les interventions et les résultats techniques probables dans chacun des contextes locaux. La description de ce système pratiqué permet ensuite de réaliser l'évaluation *ex ante* des SdCi pour sélectionner le(s) SdCi le plus performant(s) en fonction de ce qu'on en attend : caractérisation des performances économiques, sociales et environnementales (à l'aide de l'outil CRITER par exemple) avec un regard particulier sur les critères correspondant aux résultats visés lors de la conception, évaluation de la durabilité globale des SdCi par agrégation des critères en fonction des préférences des porteurs d'enjeu (à l'aide de l'outil MASC par exemple).

Pour mener à bien la démarche de conception, la composition du groupe et la mise en scène de l'atelier est primordiale. Cinq fonctions ont été identifiées : l'animateur, le savant en connaissances exploratoires, le savant en connaissances localisées, le meneur de changement et l'opérateur de l'évaluation. Quand ils sont réussis, ces ateliers permettent non seulement d'explorer d'identifier des

---

<sup>1</sup> 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.

systèmes de culture prometteurs, mais aussi d'organiser et de partager des connaissances, comme de valoriser et de développer des compétences.

**Mots-clés** : système, cultures assolées, conception, évaluation, prototypage

**Abstract** : Cropping system conception workshops to build, evaluate and identify innovative prototypes

The aim of the workshops is to design prototypes of innovative cropping, and then to assess their performances according to priorities of farmers, industry or society.

This multi-criteria assessment of prototypes makes it possible to identify the most promising ones to be implemented in the field on the short or medium term.

At first, attention is focused on a small number of goals with explicit targets. The members of the workshop identify the available techniques, and design the cropping systems combining old techniques and crops, as well as introducing new techniques and crops. Each described cropping system is then characterized by a set of indicators (with the CRITER tool for instance) with special attention to the criteria related to the targeted aims, and at last by a global assessment of the cropping system taking into account the priorities of stakeholders (with the MASC model for instance).

The composition of the group and the management of the workshop are essential. Five different key-roles have been outlined for a fruitful workshop: the facilitator, the domain expert, the local expert, the change bellwether and the assessment operator. When successful, design workshops produce not only innovative cropping systems, but also function as a platform for knowledge exchange and know-how development.

**Keywords** : cropping system, design, assessment, prototyping

**Introduction** :

La prise en compte des enjeux multiples du développement durable a conduit l'agronomie à faire évoluer ses méthodes dans deux directions principales (Godard et Hubert, 2003). D'une part, en mobilisant l'approche système et le concept de système de culture proposé par Sebillotte (1990) qui conduit à changer d'échelle temporelle (de la technique ponctuelle, à l'échelle annuelle de l'itinéraire technique, voire à l'échelle pluriannuelle du système de culture), et/ou d'échelle spatiale (de la parcelle homogène au paysage) (Papy, 1999). D'autre part, en évaluant les performances au-delà des résultats techniques et économiques, pour intégrer également des objectifs environnementaux et sociaux dans des approches multicritères (Sadok *et al.*, 2009).

Avant de mettre à l'épreuve au champ les systèmes de culture (SdC) dans des expérimentations et/ou des exploitations agricoles, ces agronomes passent généralement par une étape de conception des systèmes (Béguin *et al.*, 2004), puis par une étape d'évaluation *ex ante*, dans une démarche qualifiée de conception-évaluation de SdC.

Si la conception d'une technique répondant à un objectif assez simple peut être réalisée par un individu, ou au moins au sein d'une discipline, la complexité des connaissances à prendre en compte pour construire des systèmes aux cultures diversifiées répondant à des enjeux multiples exige de mobiliser des compétences et des disciplines beaucoup plus variées, difficilement mobilisables par une personne seule (Lançon *et al.*, 2008 in Reau et Doré, 2008). Ceci a conduit au développement d'une activité collective de conception-évaluation de SdC qualifiée ici d'atelier de conception.

Après un état de l'art sur l'activité de conception-évaluation, cet article développe trois exemples d'ateliers de conception de SdC réalisés par des partenaires du Réseau Mixte Technologique Systèmes de culture innovants (RMT SdCi) depuis 2005. Il analyse comment fonctionnent ces ateliers et quelles en sont les conditions de réussite. Il donne un aperçu des ressources disponibles et des démarches mobilisables pour animer et gérer l'activité d'un tel atelier de conception.

## Etat de l'art et des initiatives de conception-évaluation

Après une revue bibliographique des travaux de recherche sur le prototypage, ce chapitre présente les initiatives prises dans le monde de la grande culture et la polyculture par le RMT SdCi.

### a) *Un tronc commun issu notamment des travaux de Vereijken (Université de Wageningen, Pays-Bas)*

La plupart des publications récentes fait référence aux travaux sur le prototypage de systèmes de production réalisés dans les années 1990 par Peter Vereijken, initiés aux Pays-Bas (Vereijken, 1997 ; Sterk *et al.*, 2007) et développés en Europe dans un projet européen en réseau pour construire des SdC « intégrés » (Integrated arable farming systems, IAFS).

Décrite à la fin des années 1990, la démarche a été organisée et structurée en 5 étapes (Vereijken, 1997). Elle comprend successivement :

1. Une hiérarchie des objectifs assignés au nouveau système, basée sur un diagnostic des avantages et des inconvénients des systèmes courants,
2. La quantification des différents résultats à atteindre par le système pour satisfaire les principaux objectifs ci-dessus,
3. La conception, proprement dite, d'un prototype théorique de SdC avec une place particulière accordée à la rotation des cultures,
4. L'adaptation locale du prototype, et son test au champ dans le cadre concret d'une expérimentation, ou d'une ferme pilote et son amélioration, afin de vérifier qu'il répond bien aux objectifs,
5. Enfin, le développement de ce SdC via des groupes pilotes d'agriculteurs.

Ces travaux de prototypage étaient ainsi marqués par les caractéristiques suivantes : une approche système marquée, une phase préalable accordée à la définition des objectifs à satisfaire (les systèmes sont clairement finalisés), une place importante consacrée au processus collectif et à la négociation entre les acteurs de ce prototypage, une priorité accordée à l'expérimentation pour réaliser une évaluation *ex post* et l'absence d'évaluation *ex ante* (avec des modèles par exemple), et enfin une place accordée au développement de ces systèmes et à l'intégration des agriculteurs dans le processus de conception.

La méthode de prototypage décrite par Vereijken est toujours en usage au bout d'une quinzaine d'années. Elle a été utilisée après diverses adaptations non seulement aux Pays-Bas, mais aussi dans plusieurs pays européens comme sur d'autres continents (Wijnands *et al.*, 1997 ; Kabourakis *et al.*, 1999 ; Hann et Diaz, 2002 ; Stoorvogel *et al.*, 2004 ; Lançon *et al.*, 2007 ; Rapidel *et al.*, 2009).

Elle fait ainsi toujours référence, tout en faisant l'objet de deux principales critiques : la faiblesse du nombre de systèmes explorés avant le test au champ (faible pression de sélection) (Rossing *et al.*, 1997; ten Berge *et al.*, 2000; Dogliotti *et al.*, 2004; Lançon *et al.* 2007), et l'oubli de certaines combinaisons possibles à cause de l'insuffisance des connaissances des acteurs du prototypage mobilisés (ten Berge *et al.*, 2000; Bachinger et Zander, 2006).

Pour répondre à ces critiques, deux axes de recherche ont été développés : la mobilisation d'autres outils complémentaires, et/ou la mobilisation d'une diversité encore plus grande d'acteurs du prototypage.

La plus grande part de l'activité scientifique s'est mobilisée dans la mise au point de modèles pour outiller les étapes 2 et 3, ou compléter les étapes initiales :

- utilisation de modèles conceptuels pour organiser la conception des systèmes par les acteurs du prototypage en contribuant au partage d'une vision commune entre eux (Lançon *et al.*, 2007; Rapidel *et al.*, 2006 et 2009)
- introduction d'une étape d'évaluation *ex ante* en mobilisant des modèles pour évaluer les résultats que l'on peut attendre des SdC vis-à-vis des objectifs visés (Sadok *et al.*, 2009), ou des modèles pour simuler (Tittonell *et al.*, 2009 ; Blazy, 2009 ; Rossing *et al.*, 1997 ; Aarts *et al.*, 2000 a et b ; Dogliotti *et al.*, 2003-2006 ; Bachinger et Zander, 2006 ; Tixier *et al.*, 2008)
- génération automatique de nouveaux systèmes via de nouvelles combinaisons engendrées par des modèles de programmation linéaire (Rossing *et al.*, 1997; ten Berge *et al.*, 2000; Dogliotti *et al.*, 2005).

L'autre voie d'amélioration est passée par l'implication d'une plus grande diversité d'acteurs dans le prototypage. Cette voie d'amélioration concerne l'ensemble des 5 étapes, y compris les étapes 2 et 3. Bien que Vereijken (1999) ait souligné l'intérêt d'articuler les innovations bottom-up avec les innovations top-down, et propose d'impliquer agriculteurs et chercheurs dans les démarches de prototypage, il n'en reste pas moins que l'efficacité de la méthode a été critiquée du point de vue du mode de transfert de connaissance et des échanges entre chercheurs et agriculteurs (Oenema *et al.*, 2001 ; Langeveld *et al.*, 2004). Ainsi, Sterk *et al.* (2007) a étudié différentes organisations pour favoriser les interactions entre chercheurs, agriculteurs et agents de développement.

### ***b) Les initiatives de conception-évaluation de SdC en France métropolitaine, et plus particulièrement par les acteurs du RMT SdCi***

Dans le but d'intégrer les exigences du développement durable, différentes initiatives ont été prises dans le monde agronomique.

Elles s'appuient le plus souvent sur les fondements théoriques de la conception innovante proposés par Hatchuel *et al.* (2006), qui considère l'innovation comme un processus collectif et intercatif sur la base de sources multiples, composé d'allers et retours fréquents. La théorie C-K en particulier, définit la conception comme un processus actif et intentionnel qui vise à générer simultanément des concepts (C) et des connaissances (K) qui déboucheront éventuellement sur des nouveaux produits.

Une de ces initiatives porte sur le développement d'ateliers de conception de SdC et la mise au point d'outils d'évaluation multicritère de SdC (Meynard *et al.* 2006 ; Reau et Doré, 2008). Des ateliers du RMT SdCi regroupent des acteurs de la recherche, du développement et de l'enseignement agronomique et agricole : INRA, instituts techniques, Chambres d'Agriculture, Agrotransfert Ressources et Territoires en Picardie, Association pour la Relance Agronomique en Alsace, lycées agricoles. Trois ateliers ont ainsi fonctionné pendant la phase de création du RMT SdCi en 2006 et 2007. Puis à partir de 2008, trois nouveaux ateliers de conception ont été mis en place.

Chacun de ces ateliers a mobilisé 5 à 20 personnes, qui ont proposé des SdC originaux, afin de mieux répondre à certains enjeux du développement durable. Au-delà, des SdC livrés, ces ateliers ont permis à leurs participants de faire l'apprentissage du prototypage de SdC en atelier, au point qu'une partie de ses participants ont reproduit et adapté cette activité de prototypage dans d'autres situations.

Un inventaire de ces initiatives qui a été réalisé par Monnot (2011), a ainsi recensé 37 ateliers de conception de SdC.

Cet inventaire souligne la diversité de fonctionnement de ces ateliers suivant les acteurs impliqués et les finalités des prototypes de SdC étudiés (Tableau n°1). En effet, si les ateliers initiaux du RMT SdCi sont clairement orientés vers l'exploration de nouveaux SdC pour en repérer les plus prometteurs dans une démarche de prospective sur le moyen ou le long terme, des ateliers de conception réalisés dans ces autres cas concrets et animés par des acteurs du RMT SdCi s'orientent plutôt sur le test à court ou moyen terme du ou des systèmes les plus prometteurs en station expérimentale (ou une expérimentation en parcelle d'agriculteur), ou encore sur la transformation progressive des SdC dans les exploitations agricoles.

**Tableau 1:** Diversité des actions de conception stratifiée selon l'orientation de l'activité de conception et la combinaison de métiers qui compose les groupes. Ce tableau montre les effectifs des situations de conception.

Combinaison des métiers	Orientation de l'activité de conception			Total = 37
	Explorer de nouveaux systèmes	Concevoir en vue d'une expérimentation	Concevoir en vue d'une mise en œuvre par un agriculteur	
Recherche + R&D	8			8
Recherche + R&D + Développement		5		5
Recherche + R&D + Agriculteurs		1	1	2
R&D + Développement		4		4
R&D + Développement + Agriculteurs		6	10	16
Développement + Agriculteurs + Enseignement		2		2

Dans le chapitre suivant, un exemple de chacune de trois catégories d'atelier de conception de SdC décrit sa composition, son activité et les SdC qu'il a étudiés et proposés.

### Exemples de démarches et de systèmes de culture prometteurs issus de cette activité de prototypage

Les deux premiers exemples sont focalisés sur une mise en œuvre des SdC au champ prévue dans les mois suivants : en station expérimentale, puis en exploitation agricole. Le troisième porte sur un exemple d'atelier prospectif du RMT.

#### a) Exemple de conception de systèmes de culture économes en herbicides pour le domaine expérimental d'Epoisses de l'INRA

##### i. Enjeux et objectifs

Ce projet a été initié en 1998, à l'INRA de Dijon dans la perspective de mettre en place une expérimentation système sur le thème de la maîtrise des adventices avec peu d'herbicides dans la ferme expérimentale d'Epoisses (21).

La démarche de conception de systèmes innovants s'appuyait largement sur une expérience antérieure ayant montré le potentiel de combinaison de techniques à effets partiels pour réprimer une infestation de vulpin mal maîtrisée jusqu'alors (Chauvel, communication personnelle).

Son objectif était de définir les SdC à tester dans ce dispositif expérimental, de décrire les corps de règles de décision à utiliser pour piloter les interventions, avant de mettre en place et de gérer cette expérimentation en coordination avec l'équipe de la station expérimentale d'Epoisses.

## ii. Organisation de l'atelier de conception

Nicolas Munier-Jolain, chercheur à l'unité Biologie et Gestion des Adventices, a joué le rôle du pilote et de l'animateur pour préparer le dispositif et le protocole.

Cette activité de conception et de préparation de l'expérimentation s'est étalée sur deux années.

Dans un premier temps, l'animateur, seul, a commencé par imaginer différents SdC organisés selon un gradient de réduction de l'usage des pesticides, et un gradient du nombre de leviers agronomiques possibles à mobiliser. Il a abouti à cinq propositions qui ont été soumises à huit chercheurs choisis pour leurs compétences et leur expérience dans le domaine de l'expérimentation de SdC. Il s'agit de chercheurs et d'expérimentateurs issus d'autres régions, réunis dans un atelier de travail en 1998. Cette première proposition d'organisation de traitements expérimentaux suivant un gradient de réduction d'usage a été écartée. Et dans la foulée en une journée de travail, le groupe a défini les grands principes de la cible de chacun des SdC proposés.

La cible de ces SdC était centrée sur un objectif de maîtrise durable de la flore adventice : il s'agissait en particulier de veiller à ce que les indicateurs de maîtrise des adventices ne se dégradent pas au cours du temps.

Dans la nouvelle orientation de l'expérimentation définie ce jour-là, la cible de tous les systèmes (sauf le système de référence) est de réduire l'usage des herbicides, autant que possible, en se plaçant dans un cadre de contraintes spécifique pour chaque système.

L'objectif de l'expérimentation est alors d'évaluer le niveau de réduction d'usage de pesticides que l'on peut atteindre dans un cadre de contraintes donné, permis par la mobilisation de leviers alternatifs disponibles compatibles avec ce cadre de contraintes et combinés entre eux. Par exemple, le système appelé SC2 dans le dispositif est défini par l'absence de labour, un choix déjà fait par un nombre croissant d'agriculteurs pour des raisons indépendantes de la gestion de la flore adventice. Avec l'étude de ce système, il s'agit de répondre à la question : 'peut-on réduire l'usage d'herbicides dans le cadre de stratégie de Protection Intégrée en l'absence de labour ?'

La réflexion qu'a menée ensuite l'animateur a abouti à proposer quatre SdC innovants relevant de la Protection Intégrée (PI), en plus d'un système de référence SC1, correspondant à un système bourguignon courant, visant à maximiser la rentabilité économique.

**SC2 : Système de PI sans labour.** Les autres leviers agronomiques (rotations diversifiés, faux-semis, variétés compétitives, semis décalés...) sont mobilisés pour évaluer s'il est possible de réduire l'usage d'herbicides malgré l'absence de retournement. Pendant les 6-7 premières années de l'expérimentation, la stratégie de gestion était largement fondée sur des travaux du sol superficiels répétés pendant la période d'interculture, à vocation de faux-semis. Depuis 2008, la stratégie a été changée pour adopter une stratégie de semis direct sans aucun travail du sol, et couverture du sol par des plantes de service. Le désherbage mécanique considéré comme trop consommateur en temps n'est pas envisagé ici.

**SC3 : Système de PI sans désherbage mécanique.** Ce système ne comporte aucune contrainte en termes de travail du sol. Le désherbage mécanique en cours de culture n'est pas envisagé non plus ici. Ce système permet d'évaluer la possibilité d'évoluer vers la Protection Intégrée sans équipement spécifique de désherbage mécanique et sans conséquence lourde sur l'organisation du travail.

**SC4 : Système de PI typique.** Ce système mobilise l'ensemble des moyens agronomiques disponibles pour lutter contre les infestations adventices, y compris le désherbage mécanique et les herbicides en dernier recours si les autres techniques s'avèrent insuffisantes.

**SC 5 : Système extrême sans usage d'herbicide.** Contrairement à un système en agriculture biologique, la fertilisation repose sur des engrais minéraux et la maîtrise des insectes et maladies reposent sur des insecticides et des fongicides utilisés de façon raisonnée.

La définition des corps de règles de décision pour chaque système a été ensuite nécessaire dans la perspective de piloter au quotidien les systèmes. Elle a été réalisée ensuite avec une autre organisation, à savoir un petit groupe de travail composé du pilote du projet, du directeur et du chef de culture du domaine expérimental d'Epoisses. Ce trio s'est alors réuni environ 4-5 fois, avant le début de l'expérimentation en juillet 2000. Le plus souvent, l'animateur préparait des règles (ou éléments de règles) puis les proposait devant le groupe. Celui-ci acceptait ou demandait une autre version, et ce jusqu'à ce qu'il y ait consensus au sein du trio sur chacune des règles et des principes énoncés.

L'essentiel des règles et des principes de gestion était fixé au moment du début effectif de l'expérimentation, même si certaines règles difficiles à formuler ont donné lieu à des discussions ou des ajustements pendant le déroulement de l'essai (règles concernant la décision de traitement herbicide par exemple).

L'accès à l'information s'est fait via l'animateur qui a mobilisé le réseau INRA et la bibliographie pour les savoirs théoriques, les concepts agronomiques. Le chef de culture a apporté des savoirs opérationnels, qu'il tire de son vécu d'agriculteur, ou du réseau d'agriculteurs et de techniciens (INRA, Chambre d'Agriculture..) qu'il côtoie. Avec le directeur du domaine expérimental, il a aussi assuré une certaine cohérence interne au sein de chaque système, en validant leur faisabilité *a priori* dans le contexte du domaine expérimental d'Epoisses.

Au final, les SdC qui ont été inclus dans le dispositif expérimental ont fait l'objet d'une validation dans un premier temps par un atelier 8 chercheurs expérimentés en tests de SdC, puis dans un deuxième temps par le trio, qui a construit et validé l'ensemble des règles de décisions permettant d'adapter les interventions culturales de chaque SdC.

### iii. Place de l'évaluation

Il n'y a pas eu d'évaluation *ex ante* de ces SdC. Les premières évaluations des résultats ont été réalisées *a posteriori*, sur la base des premiers résultats mesurés dans l'expérimentation en cours.

Les principaux résultats de cette étape d'évaluation *ex post* peuvent être résumés par les points suivants :

- Une baisse significative des IFT-herbicides permise par la Protection Intégrée (moins 66% en moyenne sur 10 ans dans le système de PI sans contrainte), mais moins marquée dans le système sans labour ;
- Un nombre d'heures travaillées par hectare très légèrement augmenté en PI, mais mieux réparti sur l'année, ce qui réduit les pointes de travaux ;
- Des charges réduites, qui ne compensent pas complètement des rendements plus faibles en céréales, et les faibles produits des cultures de diversification insérées dans les successions culturales pour réduire la pression des adventices en particulier ;
- Une maîtrise satisfaisante de la flore adventice, marquée par la stabilité au cours du temps de la densité et de la biomasse des adventices avec toutefois une nette tendance à l'évolution de la flore par la sélection d'espèces adaptées aux systèmes diversifiés ;
- Des impacts environnementaux nettement réduits en termes d'écotoxicité terrestre et aquatique ;
- Un bilan énergétique non dégradé, et des émissions de gaz à effet de serre réduites quand ils sont exprimés par unité de surface, grâce à la présence de légumineuses dans les successions. Les émissions de GES sont inchangées par rapport à la référence lorsqu'elles sont exprimées par unité de produit agricole, ou par unité de revenu agricole.

Chacun des systèmes étudiés obéit à sa propre logique notamment avec son propre cadre d'objectifs et de contraintes, il n'y a pas lieu de les comparer entre eux. C'est ainsi que l'on justifie aujourd'hui qu'au-delà de cette caractérisation par différents indicateurs, il n'y ait pas eu d'évaluation multicritère. Elle pourrait être utile cependant pour faire un bilan d'ensemble de chacun de ces systèmes pour chacune des composantes de la durabilité.

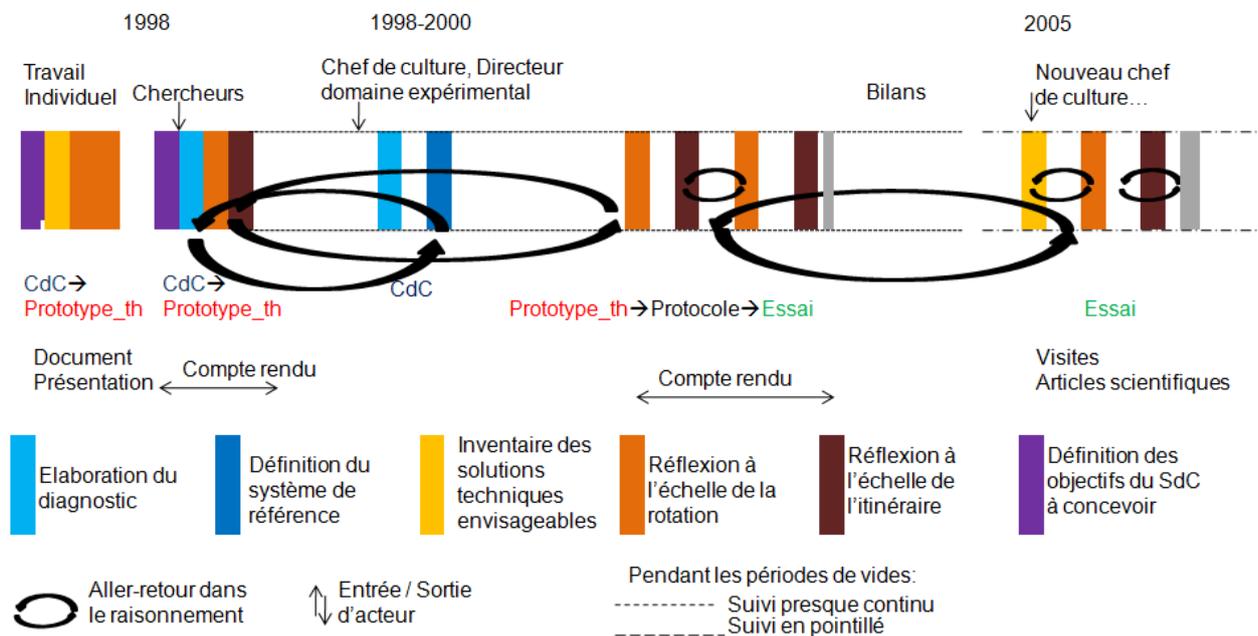
#### iv. Bilan

Après 10 ans de travail sur ce projet, l'ensemble est plutôt vécu comme une réussite.

Les deux principaux indicateurs d'évaluation des systèmes sont conformes aux objectifs (réduction d'IFT-Herbicides et maîtrise de la flore adventice), ce qui n'était pas du tout une évidence au début de l'expérimentation. Les autres indicateurs d'évaluation permettent de caractériser les conséquences de la réduction d'usage d'herbicide, mais ne remettent pas en cause la valeur du dispositif.

La conception proprement dite a été orientée par un groupe de huit chercheurs de l'INRA, expérimentés dans le domaine des SdC, elle a été réalisée principalement dans un trio de l'INRA.

La principale difficulté rencontrée dans l'expérimentation provient du manque de temps affecté à l'évaluation en continu des SdC, année après année. Par manque de moyens permanents, il a fallu avoir recours à des ressources 'temporaires' (accueil de chercheurs étrangers, stagiaires), une organisation peu favorable à la continuité de l'évaluation. Pour la même raison, le dispositif est insuffisamment valorisé par l'écrit.



**Figure 1 :** Frise historique de l'activité de conception de ces systèmes de culture dans le cadre d'une expérimentation en station (Monnot, 2011)

*Légende : la frise est organisée comme suit, avec de haut en bas :*

- Le temps avec des repères chronologiques (années)

- Les introductions et les départs d'acteurs au sein du collectif, représentés par des flèches entrantes ou sortantes.

- En rectangle de couleur, les activités organisationnelles comme les réunions de réflexion sur la méthode, les réunions de bilan, les présentations de travail individuel ou en sous-groupe au collectif... Les allers-retours dans la réflexion sont représentés par des flèches en boucle.

- Les activités cognitives, relatives à l'objet en cours de conception : la mise en place du cahier des charges (CdC), l'élaboration du prototype théorique (prototype\_th), la mise en place du protocole expérimental (protocole) ainsi que la mise en place de l'essai (essai).
- Les différentes formes de l'objet en cours de construction
- Les artefacts de coordination : les comptes rendus, les documents de présentation, les articles scientifiques publiés dans le cadre de cette activité de conception.

#### v. Autres exemples de conception préalable à une expérimentation au champ :

En partant de la description de la conception des stratégies de gestion des adventices expérimentées à Epoisses, d'autres exemples de conception de pré-expérimentation ont été comparés : le dispositif « système de grande culture intégré » d'Auzeville géré de 1994 à 2002 par Jean-Marie Nolot, le dispositif « systèmes de culture alternatifs à la monoculture de maïs » en Alsace géré depuis 2008 par Anne Schaub, le dispositif « systèmes intégrés » de Seine-et-Marne géré par Sébastien Piaud et le dispositif « système intégré sous contrainte » à Grignon géré depuis 2008 par Caroline Colnenne.

Dans ces autres dispositifs, on retrouve plusieurs points communs :

- une équipe opérationnelle de 2 à 3 personnes pour construire les SdC (Alsace, Dijon, Grignon) ; elle mobilise la bibliographie et consulte différents « experts » techniques ou scientifiques,
- une maîtrise d'ouvrage se chargeant de définir la cible, et de sélectionner/valider les SdC à expérimenter (Auzeville, Alsace, Dijon, Grignon),
- une phase préalable à l'expérimentation assez longue : de moins de un an (Alsace) à deux ans (Dijon, Grignon),
- une phase importante consacrée à l'écriture des règles de décision pour le pilotage de chacun des SdC.

Le fait plus marquant dans l'évolution de ces dispositifs expérimentaux est la montée en puissance de l'évaluation *ex ante*. Alors que celle-ci était absente ou succincte pour les dispositifs démarrés dans les années 1990, cette phase est devenue courante à la fin des années 2000. Ainsi, les deux dispositifs de Grignon (INRA) et de l'Alsace (ARAA) mis en place à partir de 2008 ont fait l'objet d'une évaluation permettant de s'assurer que leurs résultats sont prometteurs sur le papier *a priori*.

#### b) *Exemple de conception de systèmes de cultures innovants pour une exploitation de l'Observatoire des Pays de Loire*

##### i. Enjeux et objectifs

Compte-tenu de la diminution de la qualité des eaux en Pays de la Loire, et dans la perspective d'anticiper l'évolution de la réglementation en matière de produits phytosanitaires, la réduction de l'usage des produits phytosanitaires (Ecophyto 2018) est maintenant considérée comme un enjeu majeur dans la région. Les Chambres d'agriculture ont mis en place une expérimentation système afin de tester la capacité de SdC innovants à y répondre (expérimentation de Saint Fort). De plus, en 2009, elles ont complété le dispositif par un « Observatoire des Pays de la Loire » ayant trois objectifs : analyser l'acceptabilité par des agriculteurs « avant-gardistes » des systèmes éprouvés dans les expérimentations, contribuer à l'apprentissage de ces nouveaux systèmes par les agriculteurs, et contribuer à l'apprentissage des conseillers dans l'accompagnement des agriculteurs dans l'adaptation de leurs SdC.

Dans les exploitations de cet Observatoire, focalisé pour le moment sur la réduction d'usage des phytosanitaires, il s'agit de concevoir des SdC aboutissant à la même marge brute (à 5% près), tout en

réduisant de 50% l'usage des phytosanitaires, et en réduisant d'au moins 5% le temps de travail, par rapport à un système de référence.

## **ii. Organisation de l'atelier de conception**

Cet observatoire comprenait, en 2011, 9 exploitations. Les 9 agriculteurs ont été recrutés par un conseiller de leur département, et se retrouvent 2 fois par an dans le cadre de réunions régionales de l'Observatoire, avec leurs conseillers départementaux.

L'activité de conception des SdC a été réalisée en binôme conseiller-agriculteur entre novembre 2009 et avril 2010. Dans un premier temps, ce binôme a réalisé un **diagnostic d'un de ses systèmes de culture actuels de l'exploitation**:

- Description du système de référence actuel de l'exploitation agricole qui est considéré comme un point initial : description de l'exploitation agricole et des pratiques de l'agriculteur. Caractérisation des pratiques et des résultats de la campagne 2008-09 avec des indicateurs de pratiques, et quelques indicateurs économiques et environnementaux disponibles dans SYSTERRE, un outil de caractérisation proposé par Arvalis.
- Inventaire des pratiques qu'il envisage de changer,
- Inventaire des solutions qu'il envisage de mobiliser à l'avenir.

A la fin de l'étape de diagnostic, l'agriculteur choisit une seule parcelle où il va « s'engager à tester les conduites innovantes de son choix ».

L'**activité de conception** proprement dite a été réalisée sur une période de 3 mois, en discontinu. Elle s'est basée sur une liste de techniques innovantes préparées par les conseillers des Chambres et deux ingénieurs de la Recherche-Développement (Cetiom, Arvalis). Elle s'est faite à travers des visites (au moins 3 demi-journées) du conseiller chez l'agriculteur, ou via des échanges téléphoniques ou des échanges de courriels. Le conseiller a aussi utilisé la bibliographie, les expériences des collègues conseillers, le réseau des Chambres d'Agriculture et les contacts au sein du RMT SdCi pour identifier des savoir-faire et des techniques susceptibles d'être mobilisés par l'agriculteur. Il les a proposés ensuite à l'agriculteur, qui a choisi le SdC qu'il envisageait de réaliser dans sa parcelle. Le conseiller a consigné alors le résultat sous forme d'un « mémorandum », décrivant la conduite prévue dans la parcelle pour chaque culture pour les 5 années à venir.

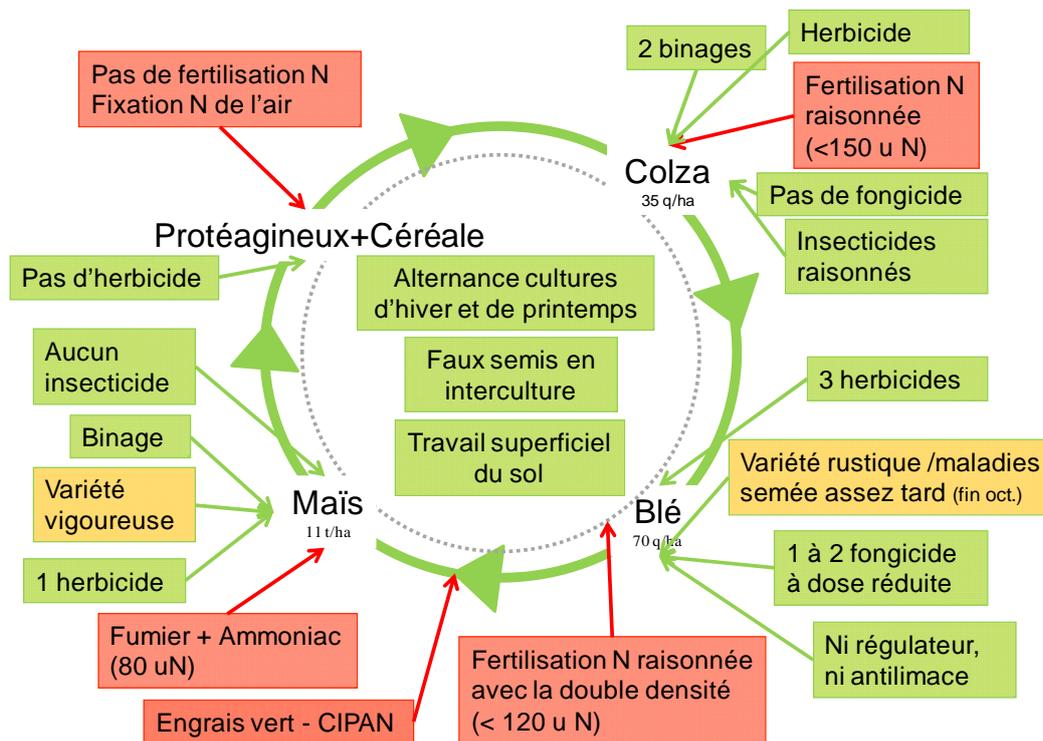


Figure 2 : Principales caractéristiques du système de culture conçu pour l'exploitation de Maine et Loire (rotation colza-blé-maïs-protéagineux+céréale)

Le suivi de la parcelle de test de chacun de ces agriculteurs a ensuite démarré avec la campagne 2010-11.

### iii. Place de l'évaluation

La validation réalisée par l'agriculteur avant la mise en œuvre a consisté avant tout en une analyse de la faisabilité du SdC candidat pour la parcelle.

Il n'y a pas eu d'évaluation *ex ante* des pratiques ni des résultats du SdC pour savoir s'il était en mesure de s'approcher de la réduction d'usage des phytosanitaires de 50%, ou pour étudier les résultats économiques ou les impacts environnementaux à en attendre.

### iv. Bilan

Cet Observatoire des Pays de la Loire a été mis en place pour une durée de 5 ans *a priori*. Il est difficile d'en faire aujourd'hui un bilan dans la mesure où son démarrage est récent, et qu'il n'est pas arrivé à son terme.

Néanmoins, c'est une activité qui semble riche d'enseignement et qui valorise les conseillers qui y participent. Selon un conseiller interrogé (Monnot, 2011), cela conduit à « *des échanges enrichissants pour les deux acteurs du binôme, c'est l'occasion de comprendre pourquoi l'agriculteur fait tel ou tel choix, d'identifier comment il justifie certaines décisions et d'amener l'agriculteur à argumenter ses choix* ».

Pour le conseiller, le point clé de la réussite de cette conception en binôme est l'ouverture d'esprit, autant de la part de l'agriculteur que du conseiller. Cette activité contribue aussi en partie au développement des compétences du conseiller, notamment dans le domaine de l'approche globale du système d'exploitation, et du SdC.

#### **v. Autres exemples de conception pour une exploitation agricole :**

Dans cet exemple des Pays de la Loire, la conception est ciblée sur l'analyse de la faisabilité de conduites innovantes dans chaque exploitation de l'Observatoire. La conception proprement dite est réalisée par un binôme conseiller-agriculteur. L'expérimentation qui la prolonge est réalisée dans une seule parcelle de chaque exploitation ; elle consiste à consigner les conduites choisies *a priori*, puis à analyser l'évolution de l'application des conduites par la mesure de l'écart entre les interventions réalisées et les pratiques prévues.

D'autres acteurs du RMT SdCi mettent en œuvre la conception de SdC pour des exploitations agricoles : Michael Geloën dans la Nièvre, Pierre Mischler en Picardie, Bertrand Omon dans l'Eure par exemple.

Une première analyse de leurs pratiques respectives révèle une grande diversité des démarches, avec :

- Un diagnostic de la situation actuelle peu développé (Eure, Nièvre) ou plus longuement formalisé (Pays de Loire, Picardie),
- Une conception des conduites réalisée soit en binôme conseiller-agriculteur (Pays de la Loire) où le conseiller peut avoir pour rôle de « proposer » des conduites éprouvées (Picardie) ou de « construire ensemble » (Nièvre), soit par un groupe d'agriculteurs, où les agriculteurs commencent par imaginer une conduite répondant aux objectifs propres d'un des leurs (Eure),
- Une évaluation *a priori* souvent absente, parfois présente et focalisée sur une première approche de faisabilité interne à l'exploitation (Pays de la Loire) voire sur une rapide caractérisation des résultats économiques ou environnementaux à attendre (Eure),
- Une mise en œuvre dans l'exploitation qui concerne un nombre variable de parcelles de l'exploitation : une seule (Pays de la Loire), deux (Picardie), autant de parcelles que de cultures successives dans la rotation (Nièvre) ou l'ensemble de la sole du SdC (Eure).
- Une conduite choisie qui n'est pas détaillée au départ (Eure) ou une conduite « à suivre » qui est soigneusement consignée sous forme d'une prescription par le conseiller pour son agriculteur « comme dans une expérimentation », avec un « protocole à respecter » (« carnet de bord » dans la Nièvre, « mémo » des Pays de la Loire, « plan d'action » de Picardie).

Cette diversité montre la richesse des pistes qui sont explorées par les acteurs du RMT SdCi. Elle indique aussi des préoccupations variables entre eux suivant que la priorité est donnée à la connaissance d'une conduite ou d'un système (faisabilité d'une conduite considérée comme éprouvée, fiabilité des performances de résultats), à la vitesse de réalisations des changements prévus, à la formation et à l'apprentissage du conseiller, ou à la formation et à l'apprentissage des agriculteurs.

#### ***c) Exemple de l'atelier de conception du RMT de système de culture ciblés sur les performances « énergie et gaz à effet de serre »***

##### **i. Enjeux et objectifs**

Cet atelier de conception du RMT SdCi qui a fonctionné de 2009 à 2011, avait pour mission de concevoir des systèmes de culture innovants qui répondent au double enjeu de la raréfaction des énergies fossiles et du changement climatique.

L'objectif de l'atelier était de concevoir des SdC performants des points de vue de l'énergie et des gaz à effet de serre (GES), pour quelques contextes pédoclimatiques donnés, chacun caractérisé par un SdC actuel.

## ii. Organisation de l'atelier de conception

L'atelier a débuté son activité fin 2008, pour s'achever 3 ans plus tard, en 2011.

Cet atelier était composé de sept personnes, originaires du développement (3 personnes des Chambres d'agriculture), de la recherche-développement (3 personnes) et de la recherche (1 ingénieur de l'INRA), l'animation étant confiée à Perrine Dumans du CETIOM.

La première année, l'activité a été particulièrement intense avec 7 réunions d'une journée, qui ont abouti à la conception et la description des SdC innovants. En dehors des réunions plénières, les 3 « référents locaux » issus des Chambre d'agriculture ou de l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace, connaissant bien le contexte pédoclimatique et agricole de leur région, étaient chargés de recueillir les informations nécessaires et décrire les SdC actuels et innovants afin de préparer l'évaluation avec l'appui de l'INRA de Grignon. Ce travail individuel a demandé environ 8 jours pour chacun des 4 contextes.

Après un an de pause, nécessaire à la mise au point de l'outil de caractérisation multicritère développé avec le RMT SdCi, le groupe s'est reformé en 3<sup>ème</sup> année (3 réunions d'une journée en 2011). Il a confronté les résultats de l'évaluation *a priori* aux résultats escomptés dans la définition de la cible, réalisé les évaluations globales multicritères et sélectionné les SdC les plus performants, avec l'appui de concepteurs du couple de logiciels d'évaluation multicritère (CRITER et MASC).

### Définition des résultats visés durant la conception

La cible de l'atelier était de proposer des SdC dans chacun des contextes, atteignant ou dépassant les seuils prédéfinis de bilan énergétique (MJ/ha), d'efficacité énergétique, d'émissions de GES (exprimés en t éq CO<sub>2</sub>/ha et en t éq CO<sub>2</sub>/MJ produit) mais aussi garantissant une performance globale de durabilité plus élevée que le système actuel.

Par manque de références, les résultats attendus ont été exprimés dans un premier temps en relatif par rapport au SdC actuel plutôt qu'en valeur absolue. La cible a ainsi été définie de la façon suivante :

- multiplier par 2 l'efficacité énergétique,
- diviser par 2 la consommation pour augmenter le bilan énergétique,
- diminuer les émissions de GES par MJ produit,
- diminuer les émissions de GES par ha.

Lorsque les résultats des indicateurs des SdC actuels ont été connus, on a pu fixer les résultats attendus pour les SdC pour chaque contexte.

### Partage des connaissances et inventaire des techniques

Une réunion a ensuite été dédiée à l'information du groupe sur l'effet des pratiques agricoles sur l'énergie et les émissions de GES, réalisée par l'animateur du groupe, qui a alors fait le point sur les connaissances disponibles et les travaux de recherche en cours dans ce domaine. Ce partage des connaissances a abouti à la construction en commun d'un inventaire des solutions techniques utilisables pour concevoir les SdC.

Cette phase a permis aussi d'identifier les principes les plus efficaces pour atteindre les résultats attendus, en hiérarchisant les solutions proposées :

- se focaliser sur les dépenses énergétiques les plus importantes, qui sont prioritairement l'irrigation pour les systèmes irrigués, et les engrais minéraux, surtout azotés, et dans une moindre mesure la mécanisation (travail du sol, récolte),

- optimiser la productivité, qui détermine la sortie énergétique : par exemple raisonner la protection phytosanitaire en fonction de son efficacité énergétique par rapport à son coût énergétique.

Pour les GES, face à l'imprécision des évaluations à l'échelle de la parcelle et aux lacunes concernant un certain nombre d'impacts, il n'a pas été possible de hiérarchiser les solutions techniques qui minimisent les émissions de GES directes et indirectes et maximisent le stockage du carbone.

#### Construction des systèmes de culture

Pour chacun des contextes, la conception a été réalisée en 2 étapes. Dans une première étape, il s'agissait de viser la cible sans modifier la rotation actuelle. Dans une seconde étape, l'atelier s'est ouvert la possibilité d'introduire dans la rotation des cultures d'intérêt pour répondre à ces enjeux.

Puis, le SdC était esquissé en combinant des solutions techniques décrites dans l'inventaire. Quand deux solutions étaient envisagées et que les experts étaient en désaccord, l'arbitrage se faisait à l'aide d'un calculateur élaboré par un membre du groupe. Cet outil estime les impacts énergétiques et GES à attendre des changements introduits et facilite les arbitrages. Dans les SdC proposés, l'innovation provient davantage de nouvelles combinaisons de techniques que de l'introduction de techniques élémentaires originales. Certains SdC innovants sont proches de SdC existants déjà chez certains agriculteurs « innovants » ; on doit légitimement s'interroger sur la faisabilité des SdC plus originaux.

#### Description des interventions culturales et des résultats techniques des nouveaux SdC

Différents SdC actuels existant en Alsace, Bourgogne, et en Normandie ont été retenus par les membres du groupe positionnés en référents régionaux.

Les SdC actuels et innovants ont été décrits en dehors des réunions plénières par chaque référent régional, sous la forme d'un schéma décisionnel, et d'une liste d'interventions et résultats de production probables. Ce référent a fourni une estimation de la fréquence d'occurrence pour chacune des options techniques. Il a précisé les rendements qu'il estime pouvoir obtenir pour chaque culture, et les références qui l'ont conduit à cette estimation.

#### Exemple d'un SdC innovant conçu par l'atelier

Trois SdC actuels de trois régions ont été proposés à l'évaluation. Quinze SdC innovants ont été conçus et évalués dont quatre ne proposent pas de modification de la rotation. Le schéma et les tableaux 2 et 3 montrent l'exemple d'un SdC innovant conçu avec un niveau de rupture forte, dans le contexte alsacien (Tournesol – Blé/Pois – Maïs dans un couvert permanent), tandis que la figure 3 illustre le cheminement de la conception, avec des niveaux croissants de rupture dans les SdC conçus.

Figure 3 : Niveaux croissants de rupture dans les conçus (contexte Alsace) :

Légende :

Culture avec une majuscule : récoltée

Culture avec une minuscule : non récoltée

Culture – culture : cultures qui se succèdent lors de 2 campagnes distinctes

Culture + culture : cultures qui se suivent dans le temps au sein d'une même campagne

Culture/culture : cultures associées (présentes en même temps)

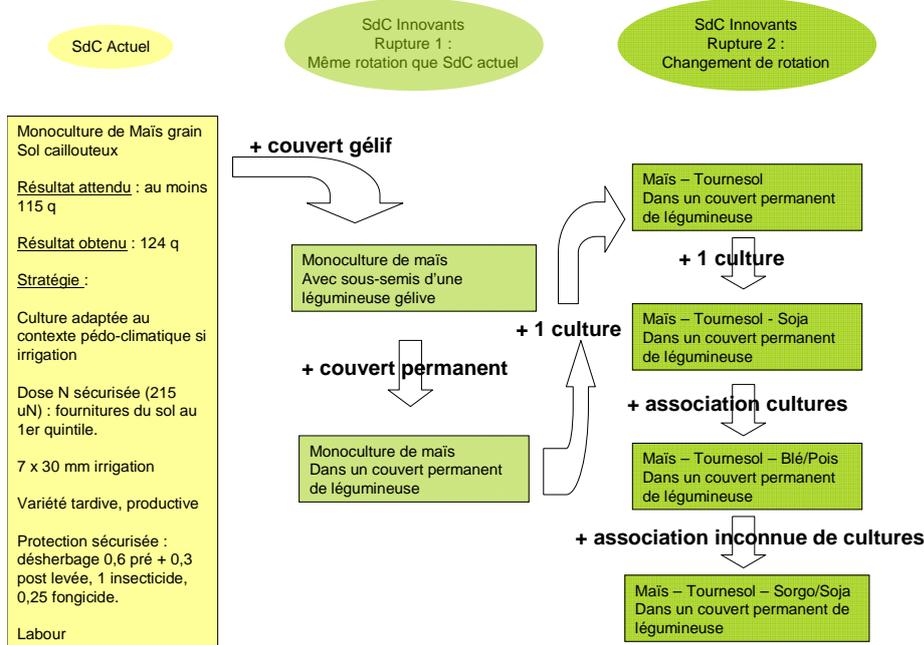


Tableau 2 : Résultats visés lors de la conception du SdC innovant « Tournesol – Blé/Pois – Maïs dans un couvert permanent » (niveau de rupture forte - contexte Alsace)

Enjeux	Objectifs du SCI	Résultats visés
Raréfaction des énergies fossiles (facteur limitant : les ressources fossiles)	Produire le plus possible pour une consommation donnée.	Efficience énergétique > 6,8
Raréfaction des énergies fossiles (facteur limitant : les surfaces cultivables)	Produire le plus possible par unité de surface. Comme le SdC actuel est très productif, diminuer la consommation énergétique par ha.	Consommation énergétique < 26 600 MJ/ha
Changement climatique (directive européenne sur les énergies renouvelables)	Emettre le moins possible de GES par unité d'énergie produite.	Emissions directes de N2O par le sol < 5,3 g éqCO2 par MJ produit (pas d'indicateur global GES)
Changement climatique (protocole de Kyoto)	Réduire les émissions de GES pour le territoire français.	Emissions directes de N2O par le sol < 950 kg éqCO2 par ha (pas d'indicateur global GES)

**Tableau 3** : Liste des interventions culturales et des résultats probables du SdC innovants « Tournesol – Blé/Pois – Maïs dans un couvert permanent » (niveau de rupture forte - contexte Alsace)

Tournesol	22/09 : broyage des cannes de maïs 15/03 : semis du trèfle blanc nain (10 kg/ha) tous les 6 ans ou broyage du trèfle (toutes les autres années), apport de 75 kg super 45 et 35 kg KCl pour compenser les exportations. 20/04 : 1 passage : fraise + semis à 75 cm d'écartement à 75 000 grains/ha. 25/04 : (4L Carioca) sur le rang 10/09 : récolte. 27 q. 1x25 mm et 4x 30 mm d'irrigation.
Blé/Pois	13/10 : broyage du trèfle 15/02 : apport de 100 kg de super 45 et 60 kg de KCl pour compenser les exportations. 28/02 : apport de 100 kg ammonitrate à 33,5% 15/10 : semis direct 185 kg (blé + pois) 15/07 : récolte. 49 q. 3x20 mm.
Maïs	15/11 : strip-till 15/03 : broyage du trèfle, apport de 102 kg KCl (compensation des exportations) 20/04 : 1 passage : semis à 75 cm d'écartement de DK3420 à 105 000 grains/ha + 143 kg 18 46 + (2L Trophée 0,4 Lagon) sur le rang 07/05 : 0,15 L Callisto en plein 15/05 : 100 kg urée 05/06 : 190 kg urée 25/06 : trichogrammes 15/07 : 1L Amistar dans 25% des cas 20/09 : récolte corn-picker, séchage en cribs des épis. 110 q de grains + rafles + une fois sur 2 exportation des cannes pour une chaufferie. 1x25 mm et 7x 30 mm d'irrigation

### iii. Place de l'évaluation

Dans un premier temps, on a étudié dans quelle mesure la cible visée a été atteinte par les SdCi : ont été calculés l'efficacité énergétique, la consommation énergétique par hectare, le bilan énergétique par hectare, et enfin les émissions directes de N<sub>2</sub>O par le sol par hectare et par MJ produit (logiciel CRITER mis au point par l'INRA de Grignon dans le cadre du RMT SdCi). Avec le SdCi précédemment décrit, le cœur de cible est presque entièrement atteint : la consommation énergétique de 19 200 MJ/ha, les émissions de N<sub>2</sub>O par le sol de 433 kg éq CO<sub>2</sub> et les émissions de N<sub>2</sub>O par le sol par MJ produit de 4,4 g éq CO<sub>2</sub> dépassent les objectifs. L'efficacité énergétique marginale de 6,5 atteint quasiment l'objectif.

Dans un second temps, au-delà de la caractérisation des principaux indicateurs définis comme le cœur de cible, cet atelier s'est attaché au cours de deux réunions successives, à élargir l'étude à la durabilité globale des SdC innovants. D'autres critères d'évaluation (non seulement environnementaux, mais aussi économiques et sociaux) ont été choisis et agrégés avec le logiciel d'évaluation multicritère MASC dans sa version 1, afin de sélectionner les SdC les plus prometteurs : non seulement ayant des performances améliorées pour l'énergie et les GES, mais aussi performants globalement sur les plans économiques, sociaux et environnementaux.

Les paramétrages du logiciel MASC (classification, agrégation et pondération) (Sadok *et al.*, 2008) ont été adaptés par les membres de l'atelier. Un arbre d'évaluation propre au groupe a été décrit et préféré à l'arbre standard MASC proposé par défaut dans le logiciel.

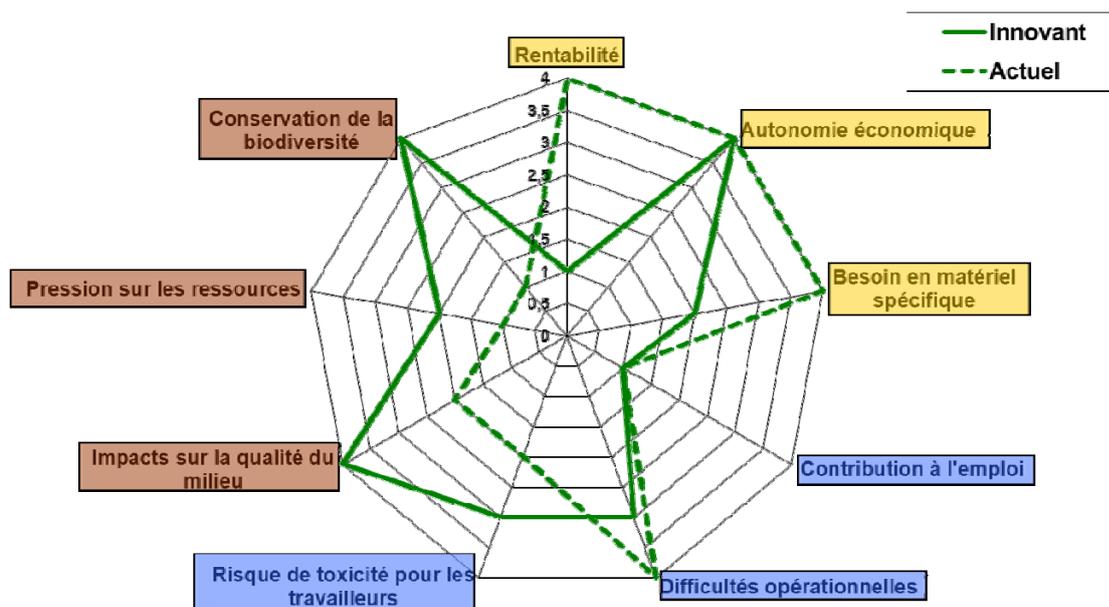
Ce SdC est très performant du point de vue environnemental et social, mais sa faible rentabilité limite sa performance économique, dans un contexte de prix de 2008, en raison des rendements moyens qu'il atteint. Les composantes de la durabilité sont très différentes pour ces 2 SdC (Figure 4). Pour le SdC

actuel, seules les performances économiques sont élevées. A l'inverse, le SdC innovant présente des performances élevées sur la plupart des critères environnementaux, à l'exception des critères énergétiques, fortement améliorés par rapport au système actuel, mais néanmoins médiocres dans l'absolu.

**Figure 3 :** Arbre de performances du SdC innovant « Tournesol – Blé/Pois - Maïs dans un couvert permanent » (niveau de rupture forte - contexte Alsace) : les performances du SdC évoluent du rouge (faibles) au bleu (élevées), et correspondent à des notes indiquées.

1/4 Rentabilité			1/4 Durabilité Économique	3/5	
3/3 Indépendance économique	4/4 Autonomie économique		3/4 Acceptabilité Sociale		
2/3 Efficience économique					
2/4 Besoin en matériel spécifique			Durabilité Environnementale		
1/4 Contribution à l'emploi					
3/3 Pénibilité du travail	3/4 Difficultés opérationnelles				
1/3 Nb cultures différentes dans la rotation	1/3 Complexité de mise en œuvre				
1/3 Nb opérations spécifiques au SdC					
3/4 Risque de toxicité phytosanitaire pour les travailleurs					
4/4 Eaux superficielles	4/4 Risque lié aux pesticides dans les eaux	4/4 Risque de pollution des eaux			4/4 Impact sur la qualité du milieu
4/4 Eaux profondes					
3/4 Pertes de NO3					
4/4 Pertes de P					
4/4 Volatilisation de NH3					
4/4 Émissions de N2O					
4/4 Perte de pesticides dans l'air					
3/3 Risque de tassement	3/3 Qualité physique	4/4 Qualité du sol			
3/3 Aléa érosif					
2/3 Matière organique	2/3 Qualité chimique				
3/3 Fertilité phosphorique					
3/3 Conso. eau d'irrigation en période critique					
3/3 Demande en eau des cultures	3/3 Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau	3/3 Pression Eau	2/4 Pression sur les ressources		
2/3 Autonomie de la ressource					
1/3 Consommation en énergie					
1/3 Efficience énergétique	1/3 Pression Énergie				
2/3 Pression Phosphore					
3/4 Diversité des cultures					
3/4 Proportion traitée de la succession					
3/3 IFT Insecticides	5/5 Nombre de doses homologuées	4/4 Pression de traitements phytosanitaires	4/4 Conservation de la biodiversité		
3/3 IFT Fongicides					
3/3 IFT Herbicides					

**Figure 4 :** Radar des critères de durabilité intermédiaires issus de l'arbre des performances du SdC innovant « Tournesol – Blé/Pois - Maïs dans un couvert permanent » (niveau de rupture forte - contexte Alsace) comparé au SdC actuel



Malgré la durabilité plus élevée du SdC innovant, il est légitime de se poser des questions sur ses performances économiques. La note de 1/4 signifie qu'il n'est pas adapté au contexte économique actuel. Compte tenu de ses excellentes performances environnementales et sociales, il serait intéressant de mesurer l'évolution de ses performances selon différents scénarios de prix de vente et d'intrants, pour définir dans quel contexte ce SdC innovant deviendrait performant.

#### iv. Bilan

Six à sept personnes est une taille minimale pour faire fonctionner un atelier de conception. En-dessous, le groupe risque de manquer de forces vives, au-dessus cela risque de diminuer la motivation.

Le climat, sans censure ni autocensure, a favorisé l'invention de SdC novateurs. Les échanges de connaissances, d'avis et de façon de voir ont enrichi les participants.

Globalement la dynamique du groupe a été très active dans un premier temps ; ensuite, en raison du temps nécessaire à la mise au point des outils d'évaluation, la dynamique s'est essouffée et il eût été plus efficace et satisfaisant pour les participants de pouvoir mener le travail d'une traite en moins de temps.

Les fonctions essentielles à la réussite de l'atelier étaient représentées :

- un animateur : pour organiser le travail et motiver le groupe,
- des inventeurs : tous les membres ont joué ce rôle. Certains, plus audacieux, ont joué le rôle de catalyseur, entraînant l'ensemble du groupe à oser,
- des savants en « connaissances exploratoires » : les ingénieurs des instituts techniques et l'INRA ont partagé leur connaissance de la thématique avec les autres membres du groupe, permettant ainsi au groupe d'inventorier les solutions techniques ; d'autres ont mis à disposition des outils qui ont facilité le travail de conception et d'évaluation (calculateur de l'ITB, CRITER et MASC de l'INRA).
- des savants en « connaissances localisées » : les Chambres d'agriculture et l'ARAA ont été les garants de la cohérence des SdC innovants. Ils ont été le relais avec des personnes de terrain, localement, pour recueillir les informations nécessaires ; ils ont veillé à la logique globale des SdC, à leur adéquation avec le milieu. Ils ont aussi vérifié la cohérence entre les sorties des indicateurs et les références locales.

Il s'agit d'un atelier caractérisé par un travail prospectif, sans but concret de mettre en œuvre rapidement sur le terrain le fruit de la conception. Cette absence de pression de l'application immédiate permet d'explorer plusieurs systèmes différents très en rupture par rapport aux systèmes actuels, dans une perspective de long terme. L'évaluation multicritère ultérieure permet d'estimer les performances de durabilité globale du SdC innovant et de vérifier l'absence de « dégâts collatéraux ».

Outre l'identification des systèmes *a priori* les plus prometteurs, les modalités d'évaluation permettent d'évaluer globalement les forces et les faiblesses au moyen de la présentation d'ensemble de l'arbre des performances de chaque SdC. Ceci permet de faire un diagnostic des moins performants, pour envisager comment on pourrait chercher à les améliorer dans le cadre d'une deuxième boucle de conception.

La robustesse des performances des SdC selon différents scénarios n'a pas encore été testée : variation des prix de vente, des prix des intrants, variations des rendements dues au climat de l'année...

Les évaluations globales ont été réalisées selon les préférences du groupe, et également avec la pondération standard de MASC. Il serait intéressant de vérifier la robustesse des performances

globales des SdC innovants en les confrontant aux valeurs d'autres groupes : agriculteurs, environnementalistes, élus locaux...

Cependant, ce type de conception en atelier reste théorique. Si certains SdC innovants produits par un tel exercice sont en mesure d'être proposés à des agriculteurs immédiatement, d'autres, très novateurs et performants *a priori*, sont très éloignés de ce qui existe sur le terrain, et leur faisabilité technique n'est pas acquise (par exemple peut-on réellement réussir à cultiver du tournesol et du sorgho en cultures associées ?). Une suite concrète à ce travail pourrait être d'expérimenter les SdC innovants qui paraissent les plus prometteurs.

#### **v. Autres exemples de conception-évaluation « prospective » :**

Deux autres ateliers de conception ont fonctionné en parallèle de celui-ci dans le RMT SdCi : l'un animé par Christian Bockstaller sur le thème de la biodiversité favorisant le contrôle biologique des ravageurs et la fertilité des sols, l'autre sur le thème des systèmes économes en pesticides animé par André Chabert.

Tous les deux ont fonctionné sur les mêmes bases : une activité en atelier pendant 5 à 10 réunions, alternant avec une activité individuelle entre deux réunions de groupe ; une posture de conception en rupture ciblée sur un futur lointain, hors des contingences socio-économiques actuelles, ce qui facilite la créativité de tous, et en particulier celle des agents de développement. Les réunions de l'atelier servent notamment à clarifier les concepts, à identifier les techniques mobilisables, à valider, amender les propositions qui ont été préparées par les référents locaux et à examiner les résultats de l'évaluation multicritère.

Ce processus est jugé long : il s'est étalé sur plus de deux ans. Ceci s'explique également par le fait que le processus n'est jamais vraiment linéaire, avec des allers et retours entre les étapes. Ainsi par exemple, le fait de discuter avec un agriculteur entre deux réunions a conduit à remettre en cause une proposition de l'atelier de conception « biodiversité ».

Cependant, les démarches varient d'un atelier de conception à l'autre (Monnot, 2011). Ainsi, l'atelier « biodiversité » a ressenti le besoin de travailler à une échelle plus large que celle du SdC en intégrant également le système de gestion des surfaces semi-naturelles (bordures de parcelles, bandes fleuries...). De même, l'atelier « bioagresseur » qui avait été mis en place dans le projet ADAR Systèmes de culture innovants (Reau *et al.*, 2006) a adopté une démarche originale qui s'est avérée particulièrement fertile pour la créativité : elle consiste à travailler sur différents niveaux de rupture en relation avec la cible visée, en prenant soin de commencer par la rupture la plus forte, pour revenir dans un deuxième temps sur une rupture plus modérée.

Il est encore un peu tôt pour faire un bilan des ateliers de conception du RMT SdCi, et du projet ADAR précédent. D'ores et déjà, parmi les 45 SdC qui y ont été conçus depuis 3 ans, une partie présente des performances très prometteuses au point d'avoir déjà inspiré plusieurs expérimentations. Les résultats de ces ateliers méritent d'être encore mieux capitalisés afin de servir pour des expérimentations systèmes, comme d'autres ateliers de conception. Ces ateliers ont familiarisé au moins une vingtaine de personnes à la démarche de prototypage, et une partie d'entre elles s'est lancée dans l'animation de nouveaux ateliers de conception. Cet essaimage concerne des acteurs du développement, de la recherche-développement comme de la recherche. Il touche l'agriculture conventionnelle comme l'agriculture biologique.

### **Des ressources et des démarches pour renforcer l'activité des ateliers de conception**

En comparant le premier et le dernier exemples présentés ci-dessus, on mesure les progrès qui ont été réalisés dans les méthodes depuis une dizaine d'années pour explorer de nouveaux SdC pour demain.

Ces progrès concernent l'organisation de l'articulation entre recherche et développement dans le secteur agricole, notamment via les RMTs : vers 2000, l'INRA de Dijon mobilisait principalement ses propres forces pour préparer un protocole d'expérimentation système de longue durée, alors que les ateliers du RMT SdCi en 2010 mobilisent beaucoup largement les compétences disponibles chez les ingénieurs du monde agronomique et agricole.

Plus largement, les progrès réalisés concernent trois domaines principaux : l'évaluation multicritère *ex ante*, le développement de l'usage des indicateurs d'évaluation, et l'organisation d'ateliers mixtes associant recherche et développement, et plus rarement des agriculteurs.

**a) *Evaluation multicritère : des valeurs des porteurs d'enjeux, aux classements des SdC innovants candidats, en passant par une compréhension des différentes composantes de la durabilité***

L'avènement de ces nouveaux ateliers de conception a probablement été facilité par le développement des moyens de simulation. En effet, le premier exemple montre qu'à la fin des années 1990, une seule étape d'évaluation était réalisée, celle qui suit l'expérimentation, ou évaluation *ex post*. L'utilisation des modèles pour réaliser des simulations a rendu possible les évaluations antérieures à la mise en œuvre au champ des SdC, les évaluations *ex ante*. Si les coûts expérimentaux ne permettent pas de tester un grand nombre de SdC différents, les tests par simulation ont permis d'envisager un plus grand nombre de SdC candidats. En effet, si l'on imaginait généralement un seul SdC pour chaque type de SdC du dispositif expérimental, avec l'arrivée de l'évaluation *ex ante*, il devenait envisageable de générer un grand nombre de SdC puis de choisir le système qui serait expérimenté par sélection suivant les résultats obtenus *in silico* à l'issue d'une première évaluation réalisée par simulation.

La génération automatique a exploré cette voie, en générant un grand nombre de SdC candidats, qui sont ensuite triés à partir des simulations des résultats qu'on peut en attendre (Dogliotti *et al.*, 2003 et 2004).

Le prototypage « à dire d'experts » l'a explorée également via les ateliers de conception où plusieurs SdC sont construits avant d'être triés par une évaluation *ex ante*.

Dans le cas du RMT SdCi, les travaux réalisés avec la technologie DEXi (Bohanec, 2008) introduite par Antoine Messéan dans le projet ADAR Systèmes de culture innovants (Reau *et al.*, 2006), puis la conception de MASC pour l'adaptation de DEXi à l'évaluation des SdC dans le cadre du projet de recherche DISCOTECH (Sadok *et al.*, 2009) ont conduit à un premier outil relativement opérationnel pour faciliter l'usage de l'évaluation multicritère dans la perspective de répondre aux enjeux du développement durable.

Ces travaux de recherche menés à proximité immédiate du RMT SdCi ont favorisé l'utilisation du logiciel MASC. Il a d'abord été testé très rapidement par des acteurs du RMT SdCi et notamment des utilisateurs ne faisant pas partie des concepteurs initiaux (Craheix *et al.*, 2010). Il est ensuite rentré dans l'usage pour l'évaluation *ex ante* des SdC proposés par les ateliers du RMT SdCi, notamment par Anne Schaub et André Chabert qui l'ont mis en œuvre au titre de l'atelier que chacun a animé.

Enfin, d'autres travaux réalisés par les acteurs du RMT SdCi ont permis d'envisager d'autres usages de l'évaluation multicritère avec MASC. Si ce logiciel est destiné au départ au tri de différents SdC suivant l'arbre d'évaluation standard proposé par les concepteurs, il permet aussi d'étudier plus en profondeur les performances de chacun des SdC. Les travaux réalisés notamment en collaboration avec Bertrand Omon ont permis de montrer l'intérêt de MASC, pour analyser les préférences de développement durable de différents porteurs d'enjeu du département de l'Eure, d'étudier la robustesse des performances d'un SdC suivant les préférences de durabilité des uns et des autres, et enfin de proposer une démarche de diagnostic des performances de durabilité afin de travailler à son amélioration ultérieure dans le cadre d'une seconde boucle de conception (Lagaise, 2009).

### b) Caractérisation des résultats à attendre des systèmes de culture : la question des indicateurs et des outils

Le choix d'inclure dans l'activité de prototypage une phase d'évaluation *ex ante* a conduit à renouveler l'activité de caractérisation des résultats élémentaires des cultures et des SdC.

L'activité d'évaluation des résultats des cultures par des indicateurs agro-écologiques n'est pas nouvelle (Bockstaller *et al.*, 1997). Cependant, afin de parvenir à rendre opérationnelle l'évaluation multicritère avec MASC, les acteurs du RMT SdCi ont réalisé la difficulté que représente la caractérisation de critères environnementaux et de critères économiques quand ceux-ci sont dispersés dans des outils très différents, ni compatibles, ni interopérables. Pour résoudre ce problème, dans un premier temps, des acteurs du RMT SdCi se sont lancés dans la mise au point d'un tableur rassemblant tous les critères de base nécessaires pour MASC, en complément de l'outil Indigo (Bockstaller *et al.*, 1997). Puis dans un deuxième temps, l'ensemble de ces critères a été rassemblé dans un même logiciel sous une seule interface d'entrée : le logiciel CRITER (Fortino *et al.*, 2010). La mise à disposition d'une chaîne continue entre la description des pratiques culturales et des résultats techniques des cultures et le logiciel MASC a ainsi permis de décupler la vitesse de réalisation de ces évaluations (Dumas, 2009; Dumas, communication personnelle).

La réalisation de CRITER a aussi conduit à mettre au point des critères d'évaluation adaptés à l'échelle pluriannuelle du SdC ; en effet, bon nombre d'indicateurs ont été établis à l'échelle de chaque culture, en étant parfois utilisés à l'échelle de l'assolement d'une exploitation pour une année donnée, tout en se montrant inadaptés à l'échelle pluriannuelle du SdC. L' $\text{I}_{\text{NO}_3}$  d'Indigo a ainsi été perfectionné pour être adapté à l'estimation des pertes de nitrates à l'échelle de la rotation.

Toutefois, dans cette liste des indicateurs de CRITER issus d'Indigo, l'indicateur  $\text{N}_2\text{O}$  pourrait avantageusement être complété par un calcul du stockage de carbone dans le sol. De plus, les émissions de  $\text{CO}_2$  ont fait défaut à l'atelier de conception du RMT.

La montée en puissance des questions sur l'estimation des performances de prototypes de SdC a souvent été l'objet de débats au sein du RMT SdCi. Elle semble notamment avoir renouvelé l'intérêt pour les indicateurs environnementaux dans l'ensemble du monde du développement agricole. En effet, si les premières initiatives en matière d'estimation des performances environnementales sont issues principalement du monde associatif ou de l'INRA (Solagro, 2002), aujourd'hui les coopératives et les instituts techniques agricoles qui s'étaient cantonnés à une analyse de la conformité aux bonnes pratiques agricoles, et à une analyse des résultats techniques et économiques, proposent maintenant leurs critères d'évaluation environnementale des cultures : le meilleur exemple est actuellement « Systerre » développé par Arvalis, un logiciel qui permet de calculer un ensemble de critères de performance environnementale de résultats de SdC, en plus de critères de résultats techniques et économiques.

On assiste ainsi à une certaine multiplication et une diversification des indicateurs d'évaluation disponibles. Cette diversification a probablement été rendue possible par l'évolution des technologies. Dans les années 1990, au moment de la création d'Indigo, ses concepteurs ont fait des choix sur les modes de calcul ; or ces choix ne conviennent pas à tous, ce qui a amené certains utilisateurs à renoncer à son usage. Aujourd'hui, grâce à la technologie DEXi, la formalisation de connaissances pour la construction et l'adaptation de critère d'évaluation est devenue plus accessible. C'est ainsi que Craheix *et al.* (2012) ont réussi à proposer des critères d'évaluation pour MASC dans les situations où les limites des connaissances actuelles n'ont pas encore permis de mettre au point de modèles ou d'indicateurs plus fins.

Nous allons voir dans la partie suivante que la multiplication et la diversité des critères d'évaluation semblent une bonne chose, notamment pour répondre à la diversité des besoins : avec les indicateurs, on recherche en effet un compromis entre fiabilité des simulations des processus et faisabilité

d'utilisation par leur utilisateurs. Et compte tenu de la diversité des usages des critères d'évaluation, il semble important de disposer d'une gamme assez large, afin de répondre aux différents besoins que l'on rencontre au cours des démarches de conception-évaluation.

### **c) Conception de systèmes de culture en ateliers mixtes recherche/développement**

De nombreuses initiatives sont prises dans le but de concevoir des SdC innovants et durables (Reau et Doré, 2008 ; Meynard *et al.* 2006) dans le RMT SdCi créé en 2008 : animation et réalisation de 3 ateliers de conception fonctionnant en parallèle, mais aussi participation à l'écriture du guide STEPHY (Attoumani-Ronceux *et al.*, 2011).

Une étude récente réalisée par Monnot (2011) a permis d'analyser les démarches de conception mises en œuvre par les acteurs du RMT SdCi dans le domaine des cultures assolées, sur un échantillon de 8 ateliers différents. Elle souligne la diversité de l'organisation de la conception comme de la dynamique de ces groupes de travail ; elle permet également de mieux identifier les différents rôles qui sont « joués » dans ces ateliers.

#### **i. Les formes d'organisation de la conception**

Un point commun rassemble ces différentes initiatives : la mobilisation de connaissances très variées rarement détenues par un seul individu (Lançon *et al.*, 2008 ; in Reau et Doré, 2008). Compte tenu de la distribution des connaissances, plusieurs acteurs sont mobilisés pour construire ces SdC.

Deux formes d'organisation différentes peuvent être mises en œuvre :

- Une division du travail de conception entre les différents acteurs : la répartition des tâches s'effectue selon les compétences et expertises de chacun. Chaque acteur travaille le plus souvent de son côté ou en sous-groupe sur la tâche que lui a confiée l'animateur, avant de rendre son livrable à l'animateur qui se charge de la compilation. Enfin, cette compilation est présentée à l'ensemble du collectif afin de l'améliorer et de la valider. Cette forme d'organisation est appelée « conception distribuée ».
- Un partage du travail de conception au cours de séances communes à l'ensemble des acteurs mobilisés par l'animateur (les ateliers de conception). Cette forme est qualifiée de « co-conception ».

Monnot (2011) a ainsi étudié 3 cas de conception distribuée, et 5 cas de co-conception (2 cas d'ateliers de conception proposés par le RMT SdCi, où aucun agriculteur n'a été associé, et 3 ateliers de conception auxquels des agriculteurs ont été associés).

#### **ii. Les rôles des acteurs dans les situations de co-conception**

L'analyse de l'activité de ces acteurs au cours du temps a également mis en évidence que la pérennité et la dynamique de l'activité de conception reposaient sur la façon dont certains rôles étaient assurés.

Cinq rôles principaux ont été mis en évidence : l'animateur, le « savant en connaissances exploratoires », le « savant en connaissances localisées », le « meneur de changement » et « l'opérateur de l'évaluation ».

L'animateur organise la gestion des différentes activités collectives, distribue les tâches individuelles, et veille au bon déroulement de l'activité de conception, dans une position de chef de projet.

Le « savant en connaissances exploratoires » réunit les savoirs et les savoir-faire déjà disponibles ou sur le point d'aboutir permettant éventuellement de répondre aux enjeux visés. Il propose de nouvelles idées, de nouvelles pistes. Concrètement, ces connaissances portent sur des concepts agronomiques (agroécologie, gestion de l'azote, protection intégrée...) ou sur des techniques et références (non labour, semis sous couvert, itinéraire technique « blé rustique »...). L'acquisition de connaissances peut aussi avoir lieu à travers la consultation d'experts, extérieurs au projet, qui ont des compétences non mobilisées dans le collectif.

Le « savant en connaissances localisées » réunit les connaissances sur les SdC actuels dans les contextes étudiés (les interventions culturales, les résultats techniques obtenus, leur cohérence interne et leur place dans le fonctionnement de l'exploitation agricole). Il met en cohérence les pratiques agricoles, avec les résultats techniques et le contexte. Il fournit une première analyse sur la cohérence comme sur la faisabilité des SdC nouveaux qui sont proposés.

Le « meneur de changement » est capable non seulement de proposer des idées nouvelles mais surtout d'amener les autres à en proposer. Il guide le groupe de l'atelier vers de nouvelles pistes. Ce meneur de changement prend en quelque sorte le risque de mener le reste du collectif vers des idées nouvelles, en favorisant l'exploration des possibles.

L'« opérateur de l'évaluation » réalise les évaluations de performances à partir de la description des SdC innovants et actuels. Son activité commence par l'analyse des priorités et des préférences des porteurs d'enjeux afin de définir le cadre des évaluations. Elle se poursuit par la caractérisation et l'évaluation multicritère, et la présentation et la discussion des résultats avec l'atelier de conception, et aussi avec les porteurs d'enjeux.

Quand ces rôles ne sont pas assurés, cela peut entraîner l'échec de l'atelier. Un groupe a ainsi arrêté son activité sans avoir avancé dans la conception de nouveaux systèmes. Il semble nécessaire d'aider les acteurs en général, et l'animateur en particulier, à identifier les différents rôles à assumer au sein du collectif au-delà des connaissances à échanger et à nourrir, et d'encourager l'animateur de l'atelier à mettre en scène les différents acteurs en distribuant ces rôles suivant les compétences des individus.

### **iii. La dynamique et l'organisation d'ensemble des différentes phases de conception**

Le RMT SdCi teste et propose des éléments pour guider la démarche de conception de SdC, et prend part à la formation de ses membres. Nous pouvons nous demander dans quelle mesure les membres du RMT SdCi intègrent la démarche, et dans quelle mesure la prégnance de ces guides peut limiter la créativité attendue dans les processus de conception.

Une première analyse montre que les activités intègrent les différentes étapes d'une activité de conception mais que les animateurs organisent leur déroulé de façon très variable, et adaptent leur démarche selon la perspective initiale de l'activité de conception.

La démarche de raisonnement présente des similitudes et dans le déroulé historique de chaque activité de conception (Figure 5), on retrouve généralement :

- Le diagnostic initial d'un ou plusieurs SdC actuels. Il s'agit d'une étape où sont mobilisés à la fois les savoirs localisés sur les SdC pratiqués, comme la connaissance de leur contribution au développement durable. Ce diagnostic est complété par la description des SdC de référence, afin de préparer la phase d'évaluation des SdCi en comparaison aux SdC de référence.
- La définition du cadre d'objectifs commence par les cibles, définies par les résultats qui orientent la construction des SdCi. Dans un premier temps, pour favoriser la créativité et se dégager des contraintes de faisabilité passées ou actuelles, il est utile de choisir une première cible focalisée sur un enjeu principal, ambitieuse et lointaine dans le temps. Dans un second temps, on peut travailler sur une cible intermédiaire. A cette étape, le rôle de « meneur du

changement » est crucial, notamment pour obtenir l'accord de l'ensemble du groupe pour s'engager dans la re-conception, et pour aider en particulier les acteurs du développement et les agriculteurs à prendre leurs distances vis-à-vis des pratiques courantes « ici et maintenant ». Au-delà des résultats visés, il est ensuite important de définir le cadre des évaluations ; c'est un rôle qui incombe à l' « opérateur de l'évaluation ».

- Le point sur les connaissances comprend l'inventaire des techniques disponibles ou envisageables pour répondre au cadre d'objectifs. C'est une étape où entrent en scène les « savants des connaissances exploratoires », qui ont aussi un rôle essentiel dans la description des mécanismes reliant les pratiques aux impacts, et notamment ceux qui correspondent aux résultats visés lors de la construction des SdCi.
- La construction du ou des SdC nouveaux débute par la combinaison de techniques entre elles, à l'échelle de la conduite annuelle de chaque culture (itinéraire technique), comme aux échelles plus englobantes (échelle temporelle pluriannuelle de la succession des cultures ou de la rotation, échelle spatiale extra-parcellaire). A cette étape, tous les acteurs ont un rôle actif généralement.
- La description factuelle d'un SdC de référence est complétée par celle des SdC innovants proposés dans le contexte de chacune des régions considérées : les pratiques des systèmes inventés décrivent les interventions culturales, comme les résultats agronomiques et techniques probables. Ce sont ici les acteurs qui détiennent les « connaissances localisées » qui interviennent souvent via des propositions qu'ils ont préparées seuls ou avec une équipe régionale, avant de les présenter pour validation à l'animateur voire devant l'ensemble du groupe.
- Enfin, la caractérisation des performances élémentaires et les évaluations multicritère sont réalisées par l'« opérateur de l'évaluation », ce qui permet à l'ensemble de l'atelier d'identifier les systèmes les plus prometteurs par les SdCi qui ont été inventés.

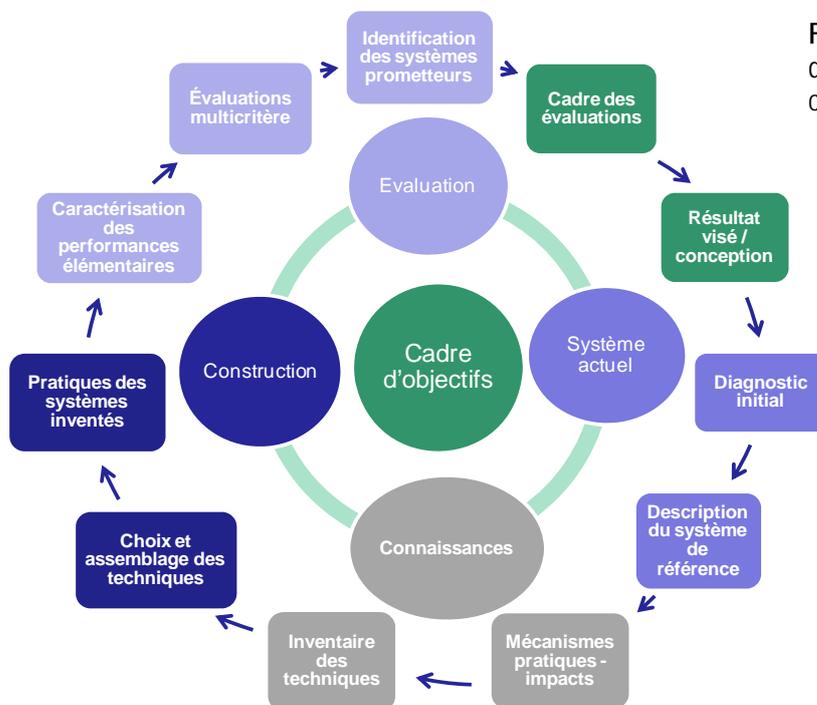


Figure 5 : Les différentes étapes de l'activité des ateliers de conception

Il existe de nombreuses variantes suivant l'ordre et le temps consacré aux étapes, ainsi que par les acteurs mobilisés, dans les frises historiques réalisées par Monnot (2011) comme dans la figure 1.

Par ailleurs, les résultats ont montré qu'il existe des différences dans l'animation du processus de conception, dans la façon dont les collectifs se coordonnent dans la répartition des activités, dans la perspective initiale donnée à l'activité de conception. Ainsi, chaque cas étudié a un fonctionnement qui lui est propre.

D'autre part, la séparation entre conception et évaluation n'est pas toujours aussi formelle. Ainsi, dans l'atelier du RMT SdCi décrit au chapitre 2c, un outil d'évaluation des performances énergétiques simple à mobiliser a été préparé par un des membres du groupe, Michel Cariolle, afin d'aider le groupe à choisir entre plusieurs options techniques possibles pour entrer dans la combinaison du système. L'étape de conception proprement dite semble pouvoir être renforcée par l'utilisation des ressources simples et rapides à mobiliser et de compétences en indicateurs d'évaluation.

#### **iv. Les apprentissages et les compétences acquises dans les ateliers de conception**

Les acteurs des ateliers de conception expriment une certaine satisfaction suite à leur engagement dans ces démarches de conception de SdC. Cette satisfaction tient aux apprentissages et aux compétences qu'ils ont pu y développer. Elle tient aussi aux compétences que cela permet de valoriser devant des tiers.

Le partage de connaissances exploratoires d'une part, et de connaissances localisées d'autre part, semble nécessaire à la richesse des apprentissages réalisés. Un des traits particuliers à ces situations de conception réside dans l'articulation entre savoirs exploratoires et savoirs localisés. Ce mélange de savoirs conditionne la richesse des interactions entre les acteurs, cela leur permet aussi de développer des compétences nouvelles.

L'apprentissage se réalise à différents moments du processus. D'abord à travers les débats et discussions où de nombreuses idées sont échangées.

Cet apprentissage passe essentiellement par l'oralité et ceci fait la réussite de ces projets selon beaucoup d'acteurs. L'oralité facilite en effet la prise d'information et son assimilation. La plupart des acteurs et en particulier les conseillers apprécient cette acquisition de connaissances facilitée qui ne leur est pas toujours possible dans leur métier au quotidien où ils consacrent par exemple peu de temps à la recherche bibliographique.

Enfin, ces ateliers permettent également à leurs participants de se forger ou d'élargir un réseau de relations socioprofessionnelles par la rencontre de nouvelles personnes issues d'autres horizons, d'autres métiers et/ou d'autres régions.

## **Conclusion**

Les ateliers de conception de SdC servent de plus en plus à préparer et construire les SdC avant leur mise à l'épreuve en stations expérimentales. Au-delà de l'exemple de Dijon présenté dans cet article, c'est actuellement la méthode qui est utilisée pour la construction d'un réseau d'une dizaine d'expérimentations des unités expérimentales de l'INRA ou de l'enseignement supérieur où seront bientôt testés et étudiés des SdC sans pesticides (projet Res0Pest). Une méthode de prototypage similaire est mise en œuvre dans le projet EcoVITI, en vue de l'expérimentation de systèmes viticoles économes en produits phytosanitaires.

Les objectifs des acteurs des ateliers vont au-delà de concevoir pour expérimenter au champ. Au-delà de ces SdC prometteurs, les exemples ci-dessus montrent que ces ateliers produisent également des

ressources utiles pour la conception d'autres SdC et l'accompagnement des agriculteurs explorant de nouveaux systèmes. Le RMT SdCi est ainsi en train de capitaliser ces ressources via un outil web collaboratif d'échange et de capitalisation d'informations techniques (projet Agropeps).

L'analyse d'un échantillon de situations de conception par Monnot (2011) indique également que ces ateliers permettent de développer de nouvelles compétences, tout en contribuant à l'apprentissage de la re-conception et de l'évaluation de SdC, des acteurs du développement comme des acteurs de la recherche.

Cette analyse a aussi permis d'identifier une partie des conditions de la réussite des ateliers de conception dans une finalité prospective ou encore dans une finalité d'expérimentation :

- Une mise en scène bien réalisée veillant à ce que la composition du groupe permet de bien assurer les rôles non seulement de l'animateur, mais aussi de « meneur de changement », de « savant en connaissances exploratoires », de « savant en connaissances localisées », et de l'intérêt d'un « assistant en évaluation ». Cependant, la connaissance de ces différents rôles mérite d'être encore approfondie,
- Une organisation dynamique des différentes phases de la conception déjà identifiées, sans craindre d'éventuels allers et retours entre les étapes quand cela est jugé nécessaire.

Pour le moment, l'évaluation multicritère de SdC n'est pas systématique dans le cadre des activités de conception. Ces démarches de couplage entre conception et évaluation devraient pouvoir être développées et renforcées grâce à l'appropriation de technologies comme celle de DEXi, et à la construction de logiciels dédiés à l'évaluation de SdC (chainage CRITER – MASC) disponibles depuis la fin des années 2000.

C'est dans cette phase de l'évaluation que l'on utilise le plus les modèles, plus ou moins complexes, pour simuler les résultats à attendre des SdC. Lors de la conception proprement dite, les modèles n'ont pas été utilisés par les acteurs du RMT SdCi à notre connaissance. Actuellement, personne ne semble avoir perçu d'intérêt à utiliser les méthodes de génération de rotations de Dogliotti et al. (2003 et 2004), ni les modèles conceptuels mobilisés dans le projet EcoVITI pour assister le paramétrage des niveaux de rendement des cultures gérées en conduite sub-optimale.

Parmi ces pistes qui pourraient être explorées, la modélisation d'accompagnement (Companion modelling, Commo) proposée par Etienne (2009) semble adaptée à ces ateliers dès lors qu'ils se composent d'acteurs ayant des fonctions différentes.

Pourquoi ces outils n'ont-ils pas été mobilisés pour le moment ? Sont-ils connus ? Est-ce un problème de formation ? Il semble en tout cas qu'il existe un décalage entre ce que souhaitent les acteurs de la conception dans leur diversité, et l'offre d'outils par la recherche ou la recherche-développement. Dans le cas de la conception de SdC pour démarrer l'apprentissage de nouveaux SdC chez des agriculteurs par exemple, on peut se demander si la démarche proposée dans le RMT SdCi pour les ateliers de conception RMT SdCi n'est pas trop rapidement reproduite et appliquée à ces situations. Il nous semble qu'il faut y être vigilant dans la mesure où les échéances et les cibles visées sont très différentes dans ces deux catégories de situations. D'un côté cette démarche avec les agriculteurs est plutôt incrémentale (Meynard et al. 2006 ; Chantre, 2011) tandis que de l'autre la démarche consiste à re-concevoir en rupture. D'un côté, il s'agit d'étudier avec un agriculteur comment faire un premier pas l'année prochaine, de l'autre, il s'agit de concevoir en visant une cible dont l'échéance temporelle se situe entre 10 ou 20 ans sans préoccupation de faisabilité dans les conditions conjoncturelles actuelles. Cette question de la démarche de co-conception mérite d'être approfondie. Pour le moment, soyons prudents avant d'appliquer les recommandations de cet article aux situations de co-conception avec des agriculteurs avec des perspectives de mise en œuvre au champ de court terme dans leur exploitation.

Les ateliers de conception réunissent des acteurs de milieux socioprofessionnels variés. Cela génère des interactions nouvelles. Par exemple entre acteurs de la recherche et acteurs du développement sur la question des outils notamment quand il s'agit de construire des outils adaptés. Cela implique notamment un effort de chacun, chercheur et agent de développement, pour se comprendre. Des réseaux comme le RMT SdCi sont devenus un lieu privilégié de ces échanges.

De même, le rapport entre les conseillers agricoles et les agriculteurs évoluent. Le conseiller agricole se retrouve dans une posture assez inhabituelle, il est amené à prendre le temps de comprendre les choix et les logiques des agriculteurs plutôt que de s'enfermer dans un rôle de proposant de solutions techniques. Une évolution des rôles s'opère, ce qui ouvre de nouveaux champs d'investigation concernant l'évolution des rapports entre les membres des ateliers de conception et plus généralement dans le domaine de l'innovation.

#### Remerciements :

- à Caroline Colnenne (INRA), Michael Geloën (Chambre d'Agriculture de la Nièvre), Pierre Mischler (AgroTransfert Ressources & Territoires), Jean-Marie Nolot (INRA), Bertrand Omon (Chambre d'Agriculture de l'Eure), Sébastien Piaud (Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne), Christophe Vivier (Chambre d'Agriculture de l'Yonne) qui ont fourni des éléments sur d'autres exemples d'ateliers de conception de SdC gérés par leur soin.
- à Lorène Prost (INRA) et Marianne Cerf (INRA) qui ont contribué à enrichir la revue bibliographique des activités de prototypage, ou co-encadré le mémoire de Laure-Amélie Monnot.

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 :

- Aarts H.F.M., Habekotté B., Van Keulen H., 2000a. Phosphorus management in the « De Marke » dairy farm. *Nutrient cycling in agrosystems* 56, 219-229.
- Aarts H.F.M., Habekotté B., Van Keulen H., 2000b. Nitrogen management in the « De Marke » dairy farm. *Nutrient cycling in agrosystems* 56, 231-240.
- Attoumani-Ronceux A., Aubertot J.-N., Guichard L., Jouy L., Mischler P., Omon B., Petit M.-S., Pleyber E., Reau R., Seiler A., 2010. Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. Application aux systèmes de polyculture. Ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement, RMT SdCi. <http://www.systemesdecultureinnovants.org/>.
- Bachinger J., Zander P., 2006. ROTOR, a tool for generating and evaluating crop rotations for organic farming systems. *European Journal of Agronomy* 26, 130-143.
- Bockstaller C., Girardin P., van der Werf H.M.G., 1997. Use of agroecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy* 7, 261-270.
- Bohanec M., 2008. DEXi: A Program for Multi-Attribute Decision Making, Version 3.0. <http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>.
- Béguin P., Cerf M., 2004. Formes et enjeux de l'analyse de l'activité pour la conception de systèmes de travail. *Activités* 1, 54-71.
- ten Berge H.F.M., van Ittersum M.K., Rossing W.A.H., van de Ven G.W.J., Schans J., van de Sanden P.A.C.M., 2000. Farming options for The Netherlands explored by multi-objective modelling. *European Journal of Agronomy* 13, 263-277.

- Blazy J.M., Ozier-Lafontaine H., Doré T., Thomas A., Wéry J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agricultural Systems* 101, 30-41.
- Chantre E., 2011. Apprentissage des agriculteurs vers la réduction d'intrants en grandes cultures : cas de la Champagne Berrichonne de l'Indre dans les années 1985-2010. Thèse AgroParistech, Paris, 402 p.
- Craheix D., Doré T., 2010. Synthèse des retours d'expérience des utilisateurs de MASC. INRA, document interne, 19 p.
- Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2012. MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. *Innovations Agronomiques* 20, 35-48.
- Dogliotti S., Rossing W.A.H., van Ittersum M.K., 2003. ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations. *European Journal of Agronomy* 19, 239-250.
- Dogliotti S., Rossing W.A.H., van Ittersum M.K., 2004. Systematic design and evaluation of crop rotations enhancing soil conservation, soil fertility and farm income: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agricultural Systems* 80, 277-302.
- Dogliotti S., van Ittersum M.K., Rossing W.A.H., 2005. A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in south Uruguay. *Agricultural Systems* 86, 29-51.
- Dogliotti S., van Ittersum M.K., Rossing W.A.H., 2006. Influence of farm resource endowment on possibilities for sustainable development: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Journal of Environmental Management* 78, 305-305.
- Dumas M., 2009. Evaluation multicritère et globale de systèmes de culture avec et sans oléagineux dans les exploitations bourguignonnes. Mémoire Agrocampus, Chambre d'agriculture de Bourgogne, 133 p.
- Etienne M., 2009. La modélisation d'accompagnement : une démarche adaptative ? In: Etienne M. (Ed.), *La modélisation d'accompagnement : une démarche en appui au développement durable*. Quae éditions, Paris
- Fortino G., Reau R., 2010. Two separate steps for cropping systems assessment: characterization and final evaluation. *Proceedings of European Society of Agronomy congress*, Montpellier.
- Girardin P., Guichard L., Bockstaller C., 2005. Indicateurs et tableaux de bord. Guide pratique pour l'évaluation. Educagri, Dijon, France.
- Godard O., Hubert B., 2002. Le développement durable et la recherche scientifique à l'INRA. Rapport à Madame la directrice générale de l'INRA. INRA, 58 p.
- de Haan J.J., Garcia Diaz A. (Eds.), 2002. Manual on prototyping methodology and multifunctional crop rotation. VEGINECO project report no. 2, Applied Plant Research BV, Wageningen, The Netherlands.
- Hatchuel A., Le Masson P., Weil B., 2006. Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises. Hermès, Paris.
- Kabourakis E., Vassiliou A., 1999. Designing and disseminating ecological production systems for perennials a first step for developing sustainable organic farming systems for the Mediterranean. FAO corporate document repository. 3 p.
- Lagaise B., 2009. Elaboration d'un prototype de description de systèmes de culture innovants. Contribution à la création d'un référentiel de performances des systèmes de culture. Mémoire ESA, INRA, Angers, 162 p.
- Lançon J., Wéry 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.
- Langeveld J.W.A., van Keulen H., de Haan J.J., Kroonen-Backbier, Oenema J., 2005. The nucleus and pilot farm research approach: experiences from the Netherlands. *Agricultural Systems* 84, 227-252.

- Meynard J.M., Aggeri F., Coulon J.N., Habib R., Tillon J.P., 2006. Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants. Rapport du groupe de travail. INRA, Paris.
- Monnot L.A., 2011. Analyse de la diversité de démarches de conception collective de systèmes de culture : organisation, rôles, outils. Mémoire SupAgro Montpellier, INRA, 84 p.
- Oenema J., Koskamp G.J., Galama P.J., 2001. Guiding commercial pilot farms to bridge the gap between experimental and commercial dairy farms; the project « Cows and Opportunities ». Netherlands. *Journal of Agricultural Science* 49, 277-296.
- Papy F., 1999. Agriculture et organisation du territoire par les exploitations agricoles: enjeux, concepts, questions à la recherche. *Compte-Rendu de l'Académie d'Agriculture de France* 85, 233-244.
- Rapidel B., Defèche C., Traoré B., Lançon J., Wery J., 2006. In field development of a conceptual crop functioning and management model: a case study on cotton in southern Mali. *European Journal of Agronomy* 24, 304-315.
- Rapidel B., Traoré B.S., Sissoko F., Lançon J., Wery J., 2009. Experiment-based prototyping to design and assess cotton management systems in West Africa. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 545-556.
- Reau R., Landé N., 2006. Evaluation a priori de systèmes de cultures innovants conçus par des experts et adaptés à des contextes régionaux. Rapport final de l'action 1. Projet ADAR « systèmes de culture innovants », CETIOM, Paris.
- Reau R., Doré T., (Eds.) 2008. Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri, Dijon.
- Rossing W.A.H., Meynard J-M., van Ittersum M.K., 1997. Model-based explorations to support development of sustainable farming systems: case studies from France and the Netherlands. *European Journal of Agronomy* 7, 271-283.
- Sadok W., Angevin F., Bergez J. E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2008. Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: guidelines for identifying relevant multi-criteria decision aid methods. *Agronomy for Sustainable Development* 28, 163-174.
- Sadok W., Angevin F., Bergez J. E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messéan A., Doré T., 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development*, DOI: 10.1051/agro/2009006.
- Sebillotte M., 1990 : Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. *Les systèmes de culture*. Paris: Inra éditions. pp. 165–196.
- Sterk B., van Ittersum M.K., Leeuwis C., Wijnands F.G., 2007. Prototyping and farm system modeling – partners on the road towards more sustainable farm systems? *Eur J Agron.* 26, 401-409.
- Solagro, 2002. Quels diagnostics pour quelles actions agroenvironnementales ? Les actes du colloque national des 10 et 11 octobre 2002. Solagro éditeur, 260 p. + annexes.
- Stoorvogel J.J., Bouma J., Orlich R.A., 2004. Participatory research for systems analysis: prototyping for a Costa Rica banana plantation. *Agronomy Journal* 96, 323-336.
- Tittonell P., van Wijk M.T., Herrero M., Rufino M.C., de Ridder N., Giller K.E., 2009. Beyond resource constraints – Exploring the biophysical feasibility of options for the intensification of smallholder crop-livestock systems in Vihiga district, Kenya. *Agricultural Systems* 101, 1–19.
- Tixier P., Malézieux E., Dorel M., Wéry J., 2008. SIMBA, a model for designing sustainable banana-based cropping systems. *Agricultural Systems* 97, 139-150.
- Vereijken P., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. *European Journal of Agronomy* 7, 235-250.
- Vereijken P., 1999. Manual for prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. AB-DLO, Wageningen, The Netherlands.
- Wijnands F.G., 1997. Integrated crop protection and environment exposure to pesticides: methods to reduce use and impact of pesticides in arable farming. *European Journal of Agronomy* 7, 251–260.