

Guide de l'expérimentateur système : concevoir, conduire et valoriser une expérimentation système pour les cultures assolées et pérennes

Morgane Havard, Aude Alaphilippe, Violaine Deytieux, Vianney Estrogues, Baptiste Labeyrie, David Lafond, Jean-Marc Meynard, Marie Sophie Petit, Daniel Plénet, Sébastien Picault, et al.

▶ **To cite this version:**

Morgane Havard, Aude Alaphilippe, Violaine Deytieux, Vianney Estrogues, Baptiste Labeyrie, et al.. Guide de l'expérimentateur système : concevoir, conduire et valoriser une expérimentation système pour les cultures assolées et pérennes. 2017, 172 p. hal-02791737

HAL Id: hal-02791737
https://hal.inrae.fr/hal-02791737

Submitted on 5 Jun 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.



Guide de l'expérimentateur "système"

Concevoir, conduire et valoriser une expérimentation système pour les cultures assolées et pérennes



Quelles étapes ?

Comment procéder ?

Quels conseils pour réussir ?

PIClég

Réseau Mixte Technologique Systèmes de Culture Innovants

EcoViti

GIS Fruits

GIS Relance Agronomique

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT
Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale «développement agricole et rural»



Pour citer ce document

HAVARD M., ALAPHILIPPE A., DEYTIEUX V., ESTORGUES V., LABEYRIE B., LAFOND D., MEYNARD J.M., PETIT M.S., PLÉNET D., PICAULT S., FALOYA V., 2017. Guide de l'expérimentateur système : concevoir, conduire et valoriser une expérimentation "système" pour les cultures assolées et pérennes, GIS PIClég, GIS Fruits, Réseau ECOVITI, RMT Systèmes de culture innovants, GIS Relance Agronomique, 172 pages.

Coordinateurs

Vincent FALOYA (GIS PIClég), Marie-Sophie PETIT (RMT SdCi), Vianney ESTORGUES (GIS PIClég, RMT SdCi)

Animatrice du comité de rédaction

Morgane HAVARD (Inra)

Auteurs du guide

Aude ALAPHILLIPE (Inra, GIS Fruits)
Violaine DEYTIEUX (Inra, RMT Systèmes de culture innovants)
Vianney ESTORGUES (Chambres d'agriculture de Bretagne, GIS PIClég, RMT Systèmes de culture innovants)
Vincent FALOYA (Inra, GIS PIClég)
Baptiste LABEYRIE (CTIFL, GIS Fruits)
David LAFOND (Institut Français de la Vigne et du Vin, Réseau ECOVITI)
Jean-Marc MEYNARD (Inra, RMT Systèmes de culture innovants)
Marie-Sophie PETIT (Chambre d'agriculture de Bourgogne – Franche-Comté, RMT Systèmes de culture innovants)
Daniel PLÉNET (Inra, GIS Fruits)
Sébastien PICAULT (CTIFL, GIS PIClég)

Comité de pilotage

Sylvie COLLEU (Inra, GIS Fruits)
Vincent FALOYA (Inra, GIS PIClég)
Benoît JEANNEQUIN (Inra, GIS PIClég)
David LAFOND (Institut Français de la Vigne et du Vin, Réseau ECOVITI)
Amélie LEFÈVRE (Inra, GIS PIClég)
Marie-Sophie PETIT (Chambre d'agriculture de Bourgogne – Franche-Comté, RMT Systèmes de culture innovants)
Sébastien PICAULT (CTIFL, GIS PIClég)

Remerciements aux relecteurs

Marie BONISSEAU (Institut Français de la Vigne et du Vin)
Stéphane CADOUX (Terres Inovia)
Jean-Michel COLLET (CTIFL, Caté)
Laurent DELIERE (Inra)
Emeric EMONET (Acta, Réseau DEPHY - EXPE)
Alain GARCIN (CTIFL)
Pierre GLERANT (Sileban)
Anne GUERIN (Institut Français des Productions Cidricoles)
Claire LESUR-DUMOULIN (Inra)
Raphaël METRAL (SupAgro Montpellier)
Muriel MILLAN (CTIFL)
Thomas PACAUD (Chambre d'agriculture d'Auvergne - Rhône-Alpes)
Anne SCHAUB (Association pour la Relance Agronomique en Alsace)
Clotilde TOQUE (Arvalis - Institut du végétal)

Remerciements les exemples, les témoignages...

Frédérique ANGEVIN (Inra, GIS GC HP2E)
Christine BEASSE (Invenio)
Laurie CASTEL (Chambre d'agriculture de la Drôme)
Caroline COLNENNE (Inra)
Patrice COTINET (Chambres d'agriculture de Bretagne)
Flora COUTURIER (EPLEFPA Arras)
Jean-Luc GITEAU (Chambres d'agriculture de Bretagne)
Juliette LAIREZ (Inra, GIS GC HP2E, GIS Elevage demain)
Nicolas MUNIER-JOLAIN (Inra)
Damien PENGUILLY (Caté)
Sébastien PIAUD (Chambre d'agriculture de Seine-et-Marne)
Lionel RAYNARD (EPLEFPA Dijon – Quetigny)
Anne SCHAUB (Association pour la Relance Agronomique en Alsace)
Sylvaine SIMON (Inra)
Dominique WERBROUCK (Pôle légumes région Nord)
Emilie CHAUMONT, Antoine VILLARD, Elise LEPOUTRE
(Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire)
Agnès et David GUICHARD (GAEC de Jasoupe à Demigny, Saône-et-Loire)
Catherine FLECHE (Chambre d'agriculture de Bourgogne Franche-Comté)
pour la relecture du document
et à tous les expérimentateurs système qui testent des systèmes innovants et œuvrent dans les différents réseaux et collectifs ayant contribué à ce guide...

Nous remercions en particulier le réseau Ecophyto DEPHY – EXPE pour leurs contributions aux illustrations et exemples développés dans ce guide. Les exemples retenus reflètent le nombre important d'expérimentations système mises en place dans le cadre de ce réseau.

Sommaire

PRÉAMBULE 7
AVANT-PROPOS 9
LISTE DES ABRÉVIATIONS 11
AIDE À LA LECTURE 13

PARTIE INTRODUCTIVE 15

1. Enjeux de la production agricole 15

2. Pourquoi travailler de manière systémique ? 17
   a. L'approche systémique en agronomie 17
   b. Focus sur le concept de système de culture 19
   c. Le système de culture dans une expérimentation "système" 21
   d. Expérimentation système versus essais factoriels : intérêts et complémentarités 23

3. L'expérimentation système, les rôles et les étapes 25
   a. Objectifs 25
   b. Six étapes d'une expérimentation système 27
   c. Rôles associés 27

PARTIE 1 Diagnostic et cadrage général de l'expérimentation système 31

1. Cadrage initial, avec identification des enjeux et des problématiques 33
   a. À partir d'un état des lieux 33
   b. À partir d'éléments imposés au préalable par des commanditaires 35

2. Identification des objectifs des systèmes de culture 35

3. Identification des opportunités et contraintes vers un cadrage ajusté 37

4. Gouvernance de l'expérimentation 39

PARTIE 2 Conception de prototypes de système de culture 41

1. Identification des attentes 43

2. Conception du ou des prototypes de systèmes de culture candidats 45
   a. Deux types de conception : "*de novo*" ou "pas à pas" 45
   b. Conception initiale ou en continu 45
   c. Cinq principaux rôles des acteurs d'un groupe de conception 47
   d. Conception en pratique 49

3. Evaluation *ex ante* et sélection du ou des prototypes prometteurs 51

4. Description du ou des prototypes prometteurs à tester en expérimentation système 53

PARTIE 3 Construction de l'expérimentation 57

1. Dispositif expérimental 59
   a. Nombre de sites 59
   b. Site de l'expérimentation 61
   c. Choix de la parcelle expérimentale 61
   d. Choix d'un système de culture de référence 65
   e. Répétitions du système de culture testé 69
   f. Echelle temporelle de travail 71

2. Système décisionnel 73
   a. Réalisation du corpus de règles de décision 73
   b. Formalisation des règles de décision 75

3. Elaboration des protocoles d'observations, de mesures et d'enregistrements 77
   a. Rôles des données à collecter pour mener à bien l'expérimentation 77
   b. Nature des données à collecter pour mener à bien l'expérimentation 79
   c. Protocoles d'observations et de mesures 81

PARTIE 4 Mise en œuvre pratique des systèmes de culture et de l'expérimentation 85

1. Expérimentation du système 85

2. Ajustement du système décisionnel 87
a. Ajustement des règles de décision existantes 87
b. Ajustements en cours de pilotage pour s'adapter aux imprévus 89

3. Gestion des données 89

PARTIE 5 Evaluation et analyse 91

1. Données pour réaliser les évaluations et les analyses 93
a. Le système réalisé 93
b. Le système « pratiqué » 93
c. Les mesures, observations et enregistrements 93

2. Types d'évaluations et d'analyses 95
a. Evaluation de la faisabilité technique 95
b. Evaluation des résultats techniques et agronomiques 97
c. Diagnostic agronomique 99
d. Evaluation de la durabilité du système de culture 101

3. Evolution du système de culture testé 107

PARTIE 6 Valorisation des expérimentations système 109

1. Expérimentation système, un outil et un espace de dialogue et d'apprentissage 111
a. L'expérimentation système, lieu de production de connaissances 111
b. L'expérimentation système, lieu d'apprentissage 113
c. L'expérimentation système, espace de dialogue et d'échange 113
d. L'expérimentation système, lieu de formulation de nouvelles questions de recherche 115

2. Différentes communications, à partir de l'expérimentation système 117
a. Différents supports de communication, en fonction des publics et cibles 117
b. Fiche d'identité du SdC 117

3. Expérimentation système pour accompagner les changements de pratiques 119

LISTE DES FIGURES, ENCADRÉS, TABLEAUX 120

ANNEXES 123

Liste des annexes 125

Annexe 1 Identification et formalisation d'enjeux à partir d'un état des lieux réalisé par les acteurs identifiés comme compétents sur la question de la production cotonnière en Afrique subsaharienne 127

Annexe 2 Exemples d'outils d'évaluation multicritère *ex-ante* disponibles, leurs forces et leurs faiblesses 131

Annexe 3 Exemple de tableau de renseignement des caractéristiques parcellaires (issu du RMT SdCi) 133

Annexe 4 Exemple d'observation, de mesure et d'enregistrement 135

Annexe 5 Aide au choix des références 137

Annexe 6 Exemples d'évolution au cours du temps d'une RdD 139

Annexe 7 Exemples de ressources pour aider au choix des données à collecter 141

Annexe 8 Exemple d'évaluation réalisée sur des données cumulées 143

Annexe 9 Exemple de construction d'une méthode d'évaluation multicritère *ad hoc* 145

Annexe 10 Extraits du bulletin technique « Info.plaine Production Intégrée » 149

Annexe 11 Fiche d'identité du système de culture Demigny 151

GLOSSAIRE 161

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 167

Préambule
"Apprendre à produire autrement"

Jean-Marc Meynard, Directeur de Recherche à l'INRA

L'expérimentation "système" est née dans les années 1980. A cette époque, le productivisme dominait sans partage l'agriculture, et le réductionnisme la science. Quelques agronomes et zootechniciens ont alors postulé (i) qu'il fallait apprendre à "produire autrement", et (ii) que les approches analytiques, découpant la réalité en morceaux de plus en plus petits, n'y suffiraient pas. Cet ambitieux projet s'est incarné dans les notions d'itinéraire technique, de système de culture et de système d'élevage, qui insistent sur l'importance de s'intéresser à la cohérence entre les différentes interventions techniques : produire autrement, ce n'est pas changer une technique, c'est changer de manière cohérente plusieurs (parfois de nombreuses) techniques, c'est changer de "système" de culture ou d'élevage.

Nul besoin de rappeler, aujourd'hui, que cette cohérence entre techniques doit être regardée selon une double focale : d'une part, les techniques jouent de manière interactive sur les plantes, les animaux ou l'agroécosystème ; d'autre part, elles sont toutes raisonnées par le producteur dans le cadre structurant de ses objectifs et de ses ressources. Le développement de l'approche systémique en agronomie s'est d'abord traduit par des travaux visant à comprendre la diversité des pratiques et des performances des producteurs : l'analyse des pratiques, l'étude du "fonctionnement" des exploitations agricoles, le diagnostic agronomique… L'agronomie "système" s'est ainsi trouvée en position de comprendre la logique des systèmes existants, de déterminer ce qu'il fallait modifier pour en améliorer les performances, et d'apprécier les limites de ce qui était modifiable. Tout était en place pour apprendre à "produire autrement".

L'idée de base de l'expérimentation "système" est simple : de la même manière que l'on compare des doses d'engrais ou des génotypes, pourquoi ne pourrait-on pas comparer des itinéraires techniques du blé plus ou moins intensifs, ou des rotations plus ou moins exigeantes en eau d'irrigation ? Ce qui caractérise une expérimentation "système", c'est que les traitements expérimentaux sont des itinéraires techniques ou des systèmes de culture, c'est-à-dire des "manières de produire", combinant différentes techniques élémentaires choisies de manière cohérente entre elles. L'expérimentation "système" vise ainsi à tester des modes de production innovants, en mimant la manière dont un agriculteur les mettrait en œuvre. Bien sûr, l'expérimentation est depuis longtemps une source de données essentielle pour les agronomes : mais jusqu'à l'invention de l'expérimentation "système", il s'agissait uniquement d'expérimentation factorielle, analytique, réalisée dans le but de tester une hypothèse relative à un processus mal connu ou de comparer des variétés ou des doses d'engrais dans des milieux différents. L'expérimentation factorielle, appuyée par les analyses statistiques qui lui sont attachées (l'analyse de variance en premier lieu), avait ainsi accompagné, dans les années 60 à 80, l'évolution de l'agronomie vers une compréhension de plus en plus fine de l'élaboration de la production, mais aussi vers le réductionnisme.

L'expérimentation "système" a d'abord dérouté : comment tirer quelque chose d'essais dans lesquels tout change d'un traitement à l'autre ? Les agronomes ont dû faire face à de nombreux problèmes méthodologiques : quelle taille des parcelles est nécessaire pour mettre en œuvre les systèmes de culture de manière réaliste ? Quel traitement statistique appliquer aux données, alors que les contraintes matérielles obligent à renoncer aux dispositifs en blocs et aux carrés latins ? Comment assurer la répétabilité de l'expérimentation, d'un lieu à l'autre ou entre années, alors que la mise en œuvre des systèmes nécessite un ajustement au cas par cas ? Pour tester le système innovant, a-t-on besoin d'un témoin représentant les systèmes dominants ? Comment traiter les données, alors que l'on a renoncé au confort du "toutes choses égales par ailleurs" ? La pratique de l'expérimentation "système" nécessite l'acquisition d'un véritable savoir-faire. En devenant le pilote d'une nouvelle manière de produire, l'expérimentateur est amené à changer de posture : dans l'expérimentation classique, tout ce qui n'était pas prévu dans le protocole relevait de son expertise ; dans l'expérimentation "système", ce qui n'est pas prévu dans le protocole est souvent inconnu, et nécessite la construction de nouveaux apprentissages. L'expérimentation "système" débouche ainsi non seulement sur une évaluation des performances du système testé, mais aussi sur la production de connaissances, d'indicateurs, de règles d'action sur ce système ; c'est, pour ceux qui la visitent, une source d'idées et de questionnements, et pour ceux qui la conduisent, une source de nouvelles compétences sur un mode de production qui n'existait pas.

Progressivement, l'expérimentation "système" est ainsi devenue une ressource méthodologique majeure pour les concepteurs de nouveaux systèmes de culture ou d'élevage. Aujourd'hui, des expérimentations "système" sont développées, en station expérimentale ou chez des agriculteurs, sur des productions très diverses. Ce document, rédigé sur la base de nombreuses expériences de terrain et d'échanges méthodologiques constants entre expérimentateurs, conseillers, agriculteurs, enseignants et chercheurs, vise à faciliter l'acquisition des savoir-faire spécifiques à ce mode d'expérimentation, mais aussi à montrer toutes les richesses de cette manière de travailler, et ses potentialités pour contribuer à produire autrement.

Bonne lecture !

Quelques repères historiques

Collectif, 1996, Expérimenter sur les conduites de culture : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation, DERF-ACTA, Comité potentialités, Paris, 130 pages.

Fiorelli C., Auricoste C., Meynard J.M., 2014, Concevoir des systèmes de production agro-écologiques dans les stations expérimentales de l'INRA : d'importants changements de référentiel professionnel pour les agents et les collectifs de recherche, Courrier de l'Environnement de l'INRA, 64, pp. 57-68.

Debaeke P., Munier-Jolain N., Bertrand M., Guichard L., Nolot J.M., Faloya V., Saulas P., 2009, Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems : methodology and case studies, A review, Agronomy for Sustainable Development, 29, pp. 73–86.

Meynard J.M., Girardin P., 1991, Produire autrement, Courrier de l'Environnement de l'INRA, 15, pp. 1-19.

Meynard J.M., 2012, La reconception est en marche ! In "Vers des systèmes de culture innovants et performants : De la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former", Innovations Agronomiques, 20, pp. 143-153.

Sebillotte M., 1974, Agronomie et agriculture, Essai d'analyse des tâches de l'agronome, Cahier ORSTOM, série biologie, 24, pp. 3–25.
http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/biologie/17681.pdf

Avant-propos

Ce guide est destiné aux expérimentateurs déjà engagés dans une expérimentation "système" ou souhaitant la mettre en œuvre, ainsi qu'à toute personne curieuse de la découvrir. Il a été construit pour répondre aux questions et difficultés fréquemment rencontrées par les expérimentateurs en cultures assolées et pérennes.
Son objectif est d'apporter une meilleure compréhension de la démarche, ainsi qu'un appui méthodologique et technique pour chaque étape de l'expérimentation. Il comprend de nombreux exemples pratiques et illustrations pour faciliter sa compréhension et son appropriation.

Ce guide est disponible en ligne sur les sites internet des partenaires :

www.picleg.fr
www.gis-fruits.org
www.vignevin.com
www.systemes-de-culture-innovants.org
www.gis-relance-agronomique.fr

Vous pourrez y retrouver d'autres exemples, ressources et productions en complément, mis en ligne au fur et à mesure de leur création.

Cette première version demande à être enrichie de vos expériences et des acquis à venir dans le domaine de l'expérimentation système … N'hésitez pas à faire part de vos idées et propositions sur les espaces dédiés des sites internet des partenaires.

La partie introductive de ce guide est consacrée à une présentation succincte de l'approche système et à la place de l'expérimentation au sein de cette démarche.

La suite de ce guide est construite en 6 parties illustrant les 6 étapes reconnues comme incontournables lorsque l'on souhaite intégrer une phase d'expérimentation in situ dans la démarche système.

Partie 1 : Diagnostic et cadrage général de l'expérimentation système

Partie 2 : Conception de prototypes de systèmes de culture

Partie 3 : Construction de l'expérimentation

Partie 4 : Mise en œuvre pratique des systèmes de culture et de l'expérimentation

Partie 5 : Evaluation et analyse

Partie 6 : Valorisation des expérimentations système

Liste des abréviations

AB	Agriculture Biologique
BioA	Bioagresseur
BTS	Brevet de Technicien Supérieur
CI	Cultures Intermédiaires
CIPAN	Cultures Intermédiaires Pièges À Nitrates
CTE	Contrat Territorial d'Exploitation
ETP	ÉvapoTransPiration
FREDON	Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles
GEDA	Groupe d'Étude et de Développement Agricole
GES	Gaz à Effet de Serre
gr	Grains
IFT	Indice de Fréquence de Traitement
IFTh	Indice de Fréquence de Traitement herbicides
ITB	Institut Technique de la Betterave
ITK	Itinéraire Technique
LEGTA	Lycée d'Enseignement Général et Technologique Agricole
MAE	Mesure Agri-Environnementale
MO	Matière Organique
MS	Matière Sèche
N	Azote
OAD	Outil d'Aide à la Décision
OILB	Organisation Internationale de Lutte Biologique et intégrée
PS	Peu sensible
RdD	Règle de Décision
SD	Semis Direct
SdC	Système de Culture
STEPHY	Stratégies de Protection des Cultures Economes en Produits Phytosanitaires
TK	Techniques
TPS	Très peu sensible



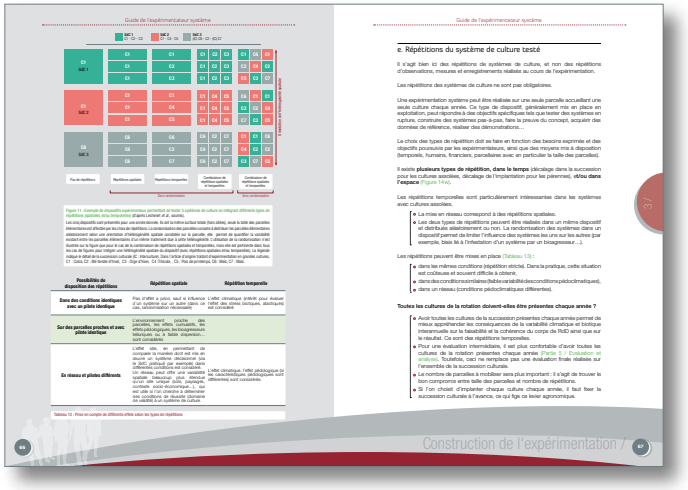
Aide à la lecture

Les parties 1 à 6 du guide de l'expérimentateur système sont conçues avec deux niveaux de lecture :

- les **éléments théoriques et pratiques** indispensables sur les **pages de droite**, illustrés de courts exemples (fond blanc),
- les **éléments illustratifs ou d'approfondissement**, le plus souvent tirés de la pratique, sur les **pages de gauche** (fond gris).

Il est recommandé de lire les pages de droite avant les pages de gauche, afin de bien comprendre la démarche d'expérimentation système présentée.

Les termes signalés par un astérisque lors de leur première apparition dans chacune des parties sont définis dans le glossaire.



Dans les illustrations et exemples proposés, chaque expérimentation système est présentée par les noms du système et de l'expérimentation système, le nom du programme, ainsi que le nom de la structure et son département entre parenthèses, comme par exemple : Système rotation 1A, Breizleg - DEPHY EXPE (CERAFEL, 22 & 29), ou encore, Système Saint-Martin-Belle-Roche, programme régional "SdCi, Ecophyto, 0 herbicide ?" et Innovipest – DEPHY EXPE (Chambres d'agriculture de Bourgogne, 71).



Bande fleurie de phacélie située en bordure de verger.



Parcelle de poireaux devant le Mont St Michel.



Parcelle cultivée en bordure
de la Seine à la Roche Guyon.

PARTIE INTRODUCTIVE

1. Enjeux de la production agricole

Pour répondre aux enjeux*[1] propres des agriculteurs, de la société et des filières agricoles, la production agricole doit :

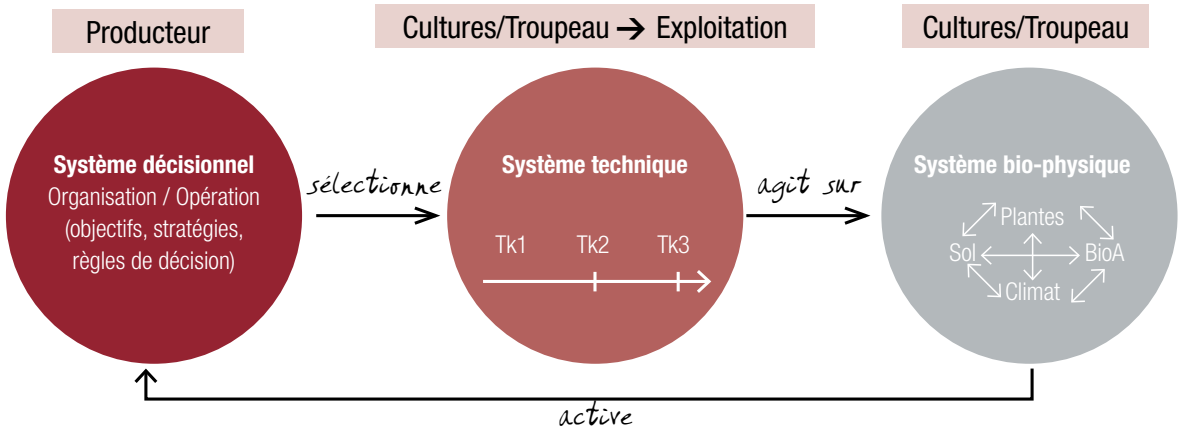
- **offrir** une rentabilité économique à l'exploitation sur le long terme, permettant un niveau de vie correct de l'agriculteur et de ses salariés ;
- **satisfaire** des exigences sociétales et sociales, afin de :
  - **garantir aux producteurs** : une bonne qualité de vie, une bonne santé, un temps de travail en accord avec leurs attentes*, une bonne répartition et organisation des chantiers, de "dormir tranquille",
  - **produire en quantité et en qualité** pour assurer les besoins des populations en aliments, matériaux et énergie,
  - **répondre aux attentes** diversifiées des acteurs des filières de transformation, de distribution, et des consommateurs… (qualité gustative, aptitude à la conservation, état sanitaire, absence de résidus de produits phytosanitaires…).
- **satisfaire** des exigences environnementales (réduction de l'usage des intrants, production d'énergie, contribution à l'atténuation du changement climatique, préservation de la biodiversité, des ressources et de la qualité de l'air, du sol, de l'eau…).

Une manière de satisfaire les enjeux actuels est d'intensifier et de valoriser les fonctions* écologiques nécessaires au bon fonctionnement de l'agroécosystème (cycle biogéochimique du carbone et de l'azote, régulation biologique des bioagresseurs, pollinisation…) et à la production de services écosystémiques (processus participant à la régulation du climat…).

1 Les mots signalés d'un * sont définis dans le glossaire, à la fin du guide.

Figure 1 : Représentation schématique d'un système de production considéré comme la résultante de l'interaction entre trois sous-systèmes (d'après Le Gal *et al.*, 2010).

Le système décisionnel inclut les objectifs*, les stratégies*, ainsi que les règles de décision* du producteur. Il sélectionne les interventions techniques à l'échelle de la parcelle/troupeau inclus dans le système technique. Ces interventions agissent sur le système bio-physique, lui-même défini par les interactions entre les plantes, le sol, le climat et les bioagresseurs (BioA). L'état de ce système est souvent utilisé comme indicateur* et conditions pour activer les règles de décision du producteur.



2. Pourquoi travailler de manière systémique ?

a. L'approche systémique en agronomie

L'approche systémique est un champ interdisciplinaire relatif à l'étude d'objets et de leurs relations (interactions, flux ...) dans leur complexité. Elle tente d'appréhender le fonctionnement de l'objet étudié en tant qu'ensemble d'éléments en interaction les uns avec les autres, dans son environnement.

Le système de culture* et le système de production, concepts clé de l'agronomie, désignent des manières de produire. L'agronome emploie ces concepts pour souligner l'interdépendance entre les techniques*, le milieu bio-physique et les ressources de l'exploitation agricole. Le système de culture désigne la manière de produire au niveau d'une parcelle ; le système de production, défini au niveau de l'exploitation, peut comprendre un ou plusieurs systèmes de culture et d'élevage en interaction.

Le modèle conceptuel (Figure 1) représente le système de production.

L'analyse d'un système de culture ou d'un système de production suppose de prendre en compte trois sous-systèmes en interaction.

Le système décisionnel représente la manière dont les agriculteurs intègrent les interventions techniques, de la parcelle jusqu'à l'exploitation. Il est défini comme la combinaison d'objectifs, de stratégies, de règles de décision (RdD) et d'indicateurs pour planifier et évaluer le système technique.

Le système technique correspond à l'ensemble des techniques mises en œuvre, dont on ne comprend la cohérence qu'en se référant à ses relations avec le système décisionnel et le système biophysique.

Le système biophysique (ou agroécosystème) est défini par les interactions entre les éléments physiques et biologiques comme l'eau, le sol, le climat, les bioagresseurs, les auxiliaires, le peuplement cultivé et les animaux d'élevage.

Ce guide est axé sur le système de culture. Il ne traite pas des systèmes de production, même si certains éléments sont transférables de l'un à l'autre. Pour aborder cette échelle et aller plus loin, il est possible de se référer aux publications suivantes : Novak *et al*., 2012, Novak *et al*, 2014, Poulain *et al*., 2012.

b. Focus sur le concept de système de culture

Le concept de système de culture a été initialement défini par Michel Sebillotte (1990) pour les cultures assolées. Appliquée aux différentes filières, la définition générique retenue dans ce guide est la suivante :

un système de culture est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur une ou plusieurs parcelles gérées de manière identique au fil des années. Chaque système de culture est caractérisé par la nature des cultures et, le cas échéant, leur ordre de succession, les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures et les éléments structurels (matériel végétal, densité de plantation, équipements avec les abris, palissage...).

Mais au delà de cette définition formelle, l'important est ce que l'usage a fait de ce concept : parler de système de culture, c'est se référer aux liens qui existent entre les actes techniques, l'agroécosystème, et les logiques d'action des producteurs. Au niveau de la campagne culturale ou du cycle d'une culture annuelle, on emploie, avec la même connotation, l'expression "itinéraire technique*" (ITK). Cette vision systémique des pratiques agricoles, qui donne une place importante aux interactions et aux régulations, est bien résumée par la définition canonique de l'itinéraire technique : « combinaison logique et ordonnée de techniques » (Sebillotte, 1974).

La cohérence du système de culture (ou de l'itinéraire technique) a deux origines (Meynard *et al.*, 2001) :

- les techniques mises en œuvre sur une parcelle résultent de décisions prises, en fonction de ses objectifs de production et de ses ressources, par le même décideur majeur, l'agriculteur et sont donc fortement liées les unes aux autres
- une même technique peut jouer sur plusieurs composantes de l'agro-écosystème, et une composante est influençable par plusieurs techniques.

Pour répondre aux enjeux cités précédemment, ni l'optimisation d'une technique, ni la substitution d'une pratique par une autre ne sont généralement suffisantes (Hill et Mac Rae, 1995). De plus, quand on modifie une technique, il faut souvent en adapter d'autres, à cause de cette cohérence du système de culture. Les raisonnements sur le court terme de l'itinéraire technique sont souvent insuffisants pour valoriser les fonctions écologiques et la production de services écosystémiques. Il est donc nécessaire de travailler à l'échelle du système de culture sur plusieurs années.

c. Le système de culture dans une expérimentation système*

Dans une expérimentation système, on peut définir le système de culture sous deux angles complémentaires. Le système de culture réalisé correspond à l'ensemble des interventions culturales et des résultats* techniques pour chaque parcelle, chaque année. Le système pratiqué prévisionnel est défini dans le protocole de l'expérimentation. Il peut être décrit grâce à la formalisation du système décisionnel (Meynard *et al*., 1996, Debaeke *et al.*, 2009) qui comprend :

- **Les objectifs** et les attentes pour lesquels il est conçu, qui peuvent être de natures agronomique, économique, environnementale et sociale. Ils dépendent du contexte local, comme la situation de production*, ou du contexte global (Partie 1 / Diagnostic* et cadrage et Partie 2 / Conception).
- **Les stratégies** (et méta-règles) qui orientent la construction des règles de décision (RdD) et du plan d'action. Une stratégie est un ensemble cohérent comprenant une fonction de production (maîtrise de l'alimentation azotée...) et la ou les solutions qui la servent (implantation d'une CIPAN, apport de fumier...). Cela permet de structurer la combinaison de RdD pour piloter le système de culture, en vue d'atteindre les objectifs et attentes fixés (Partie 2 / Conception).
- **Les règles de décision** qui vont piloter la mise en œuvre de chaque intervention technique (Partie 3 / Construction de l'expérimentation).

Tableau 1 : Exemples de problématiques auxquelles peuvent répondre les essais factoriels et les expérimentations système.

	Essai factoriel	Expérimentation système
Arboriculture	Parmi les quatre techniques de taille d'un verger de pêchers jugées intéressantes, quelle est celle qui va améliorer le plus la mise à fruit et le rendement ? La variable à expliquer est le rendement et le facteur étudié la "taille". Les quatre modalités de taille sont testées.	Comment améliorer la mise à fruit et le rendement d'un verger de pêchers dans un contexte de réduction des produits phytosanitaires ? Un système de culture, conçu pour maîtriser les bioagresseurs et obtenir 95 % des fruits de première classe pour un rendement de 30 t/ha est testé.
	Quelle(s) dose(s) de cuivre utiliser et selon quel calendrier pour lutter contre la bactériose de l'abricotier ? Les modalités testées combinent des formulations de cuivre, des doses, à différentes dates.	Comment maîtriser la bactériose de l'abricotier sans usage de cuivre en maintenant les rendements ? Un système de culture combinant contrôle génétique (variétés tolérantes, type de greffage haut), contrôle cultural (irrigation "sans à-coups"), lutte physique (badigeon du tronc), est testé.
Cultures légumières	Une diminution de la stabilité du sol des parcelles où sont cultivés des légumes en agriculture biologique est constatée, à cause d'une minéralisation rapide des amendements organiques. Parmi les amendements organiques disponibles, lesquels permettent d'améliorer la stabilité du sol sur le long terme ? Des modalités combinant des produits, des doses d'amendements organiques à différentes dates sont testées.	Une diminution de la stabilité du sol des parcelles où sont cultivés des légumes en agriculture biologique est observée. Comment maintenir, voire augmenter, le taux de matière organique (MO) des sols et avoir une marge nette de 10 000 €/ha ? Un système de culture combinant une réduction du travail du sol, un couvert végétal permanent, des apports de MO, est testé.
Grande culture	Quel programme herbicide est optimal pour lutter contre les vulpins dans les blés ? Douze traitements issus du croisement de : trois modalités pour le facteur produit (produit 1, produit 2, produit 3), deux niveaux pour le facteur dose (dose pleine, dose réduite), deux modalités pour le facteur date (date 1, date 2) sont testés.	Comment maîtriser les adventices sur blé (vulpins, géraniums), avec une marge semi-nette de 800 euros/ha et un risque de lessivage de nitrates < 30 kg/ha/an ? Un système de culture combinant l'introduction d'une culture de printemps dans la rotation, du labour, des faux semis avant le semis du blé, une date de semis tardive du blé et un programme herbicide adapté, est testé.
Viticulture	Quel produit, dose et date de fongicide pour lutter contre le mildiou et l'oïdium de la vigne ?	Comment maîtriser les bioagresseurs de la vigne (mildiou et oïdium pour les maladies, cicadelle de la flavescence dorée pour les ravageurs) et gérer l'entretien du sol en limitant le recours aux produits phytosanitaires ?

d. Expérimentation système versus essais factoriels : intérêts et complémentarités

Les essais factoriels et les expérimentations système sont complémentaires et se distinguent par les objectifs différents qu'ils cherchent à atteindre, par le type de questions auxquelles ils permettent de répondre, par les objets qu'ils étudient et par le type de résultats* produits. (Deytieux *et al.*, 2012, Reau *et al.*, 1996)

Les essais factoriels (Tableau 1) permettent d'étudier et de comprendre l'effet d'un, ou de quelques facteurs et de leurs interactions **pris isolément**, toutes choses égales par ailleurs, sur une ou plusieurs variables à expliquer. Ils peuvent aider à choisir ou à mieux maîtriser une technique à inclure dans une expérimentation système ou à affiner une règle de décision.

Les expérimentations système (Tableau 1) permettent d'évaluer la capacité d'un système de culture (ou d'un itinéraire technique) à satisfaire les objectifs qui lui sont assignés (Deytieux *et al.*, 2012) compte-tenu de sa complexité.

Des exemples de problématiques adaptées aux essais factoriels ou aux expérimentations système sont présentés dans le Tableau 1. Les principales caractéristiques de ces deux types d'expérimentation sont présentées dans le Tableau 2 (page 24).



Essai factoriel pour la mise au point de méthodes de sélection des variétés de blé tendre qui valorisent bien l'azote.



Vue aérienne de l'expérimentation système VERTICAL (vergers et cultures assolées) mise en place sur la plateforme TAB-DEPHY-EXPE (Chambre d'Agriculture de la Drôme, 26).

Tableau 2 : Principales caractéristiques des essais factoriels et des expérimentations système : deux approches expérimentales bien distinctes et complémentaires (adapté de Deytieux *et al.*, 2012).

	Essai factoriel	Expérimentation système
Objectif principal de l'étude	Comparer plusieurs modalités d'une technique (ou de quelques techniques combinées), les autres techniques du SdC étant gérées toutes choses égales par ailleurs, afin de comprendre l'effet de cette technique appelée «facteur" sur une ou plusieurs variables.	Evaluer la capacité d'un SdC (ou d'un itinéraire technique) à atteindre les objectifs qui lui sont assignés.
Objet de l'étude	Une ou plusieurs modalités de un ou plusieurs facteurs sur une variable : étude de 3 doses d'azote (facteur 1) et de 3 variétés (facteur 2) sur le rendement (variable étudiée), toutes choses étant égales par ailleurs. Selon le dispositif, possibilité d'analyser les effets de chaque facteur pris indépendamment et leurs interactions.	Un SdC considéré comme un ensemble cohérent et défini par des objectifs à atteindre et des attentes, piloté par un corpus de RdD.
Contenu du protocole	Dispositif expérimental (essai bloc Fisher, randomisation totale…) sur des parcelles de "petite surface".	Dispositif expérimental en "grandes parcelles" (à adapter en fonction de la filière).
	Traitement statistique : croisement des modalités prises par chacun des facteurs étudiés.	Description du système prévisionnel des stratégies de gestion et de l'itinéraire technique de chaque culture, les interventions culturales étant pilotées par des RdD.
	Liste des mesures, observations et enregistrements.	Liste des mesures, observations et enregistrements.
Analyse et interprétation des résultats	Analyse de l'écart entre les différents traitements afin d'estimer *a posteriori* l'optimum de la technique. Comparaison statistique (répétitions et randomisation) entre traitements avec parfois un témoin.	Analyse des résultats obtenus par les SdC par rapport : - A la faisabilité technique* et à la cohérence agronomique* - Aux attentes du pilote* et du responsable de l'expérimentation (résultats techniques et agronomiques) - Aux performances* du SdC Comparaison statistique selon les dispositifs (répétitions et randomisation) avec parfois un témoin.
Critère* de qualité expérimentale	Différents critères* de qualité selon les traitements statistiques retenus : par exemple puissance statistique de l'essai, précision de l'essai (écart-type résiduel)…	Capacité à garder la cohérence du SdC lors de la mise en œuvre et maîtrise de l'application des RdD.
	Maîtrise des hétérogénéités du milieu et des facteurs non étudiés afin de garantir le «toutes choses étant égales par ailleurs".	Gestion et prises de décisions indépendantes entre SdC, de manière à garantir la logique et la cohérence interne de chacun (cas d'un dispositif comprenant plusieurs SdC).
		Traçabilité de l'évolution du SdC, des RdD, des stratégies voire des objectifs.
		Explication des décisions prises, des résultats agronomiques et techniques obtenus, des performances et de l'évolution des états de l'agrosystème.
		Evaluation* de la significativité des résultats (répétitions et contrôle statistique, recours à la modélisation).
Regroupement d'essai/ expérimentation	Regroupement d'essais structurés avec un protocole unique et des méthodes communes (traitements à étudier, mesures et observations, méthodes statistiques), adaptés localement si nécessaire.	Regroupement d'expérimentations structurées autour d'objectifs et stratégies communs, d'une liste minimale d'observations et mesures pour chaque objectif assigné au SdC.
		Les SdC à expérimenter sont définis localement en fonction du contexte et des moyens ; les RdD et leur application pour atteindre les objectifs sont propres à chaque expérimentation ; certaines RdD peuvent être communes à différentes expérimentations.

3. L'expérimentation système, les rôles et les étapes

a. Objectifs

L'expérimentation de système(s) de culture, ou expérimentation système, consiste à concevoir, mettre en œuvre expérimentalement, mettre au point et évaluer un (ou des) système(s) de culture cohérent(s) (Debaeke *et al.*, 2009).

Elle peut avoir un ou plusieurs objectifs selon les cas :

- Tester la faisabilité technique* d'un nouveau système de culture, ainsi que la cohérence agronomique des décisions prises,
- Analyser les capacités du système à atteindre les objectifs fixés, et les améliorer itérativement,
- Evaluer la contribution du système au développement durable* (performances* environnementales, sociales et économiques),
- Améliorer les connaissances sur l'effet d'un système sur l'agroécosystème.

Les expérimentations système produisent beaucoup d'informations qui sont valorisables auprès des acteurs du conseil, de la formation, de la recherche, des agriculteurs…

Elles permettent le développement d'une expertise sur de nouvelles techniques ou de nouvelles combinaisons de techniques (règles de décision, organisation du travail, conduite de l'observation...).

Ce sont aussi des lieux d'apprentissage, d'échange et de partage de savoirs et de savoir-faire.

Elles sont sources d'inspiration pour aider à améliorer les systèmes chez les producteurs et peuvent également servir de support dans l'enseignement.

Elles permettent d'identifier des questions de recherche ou de définir des travaux analytiques complémentaires.

Figure 2 : La démarche systémique appliquée à l'expérimentation en 6 étapes.

Ce schéma en double boucle est adapté de la méthodologie du RMT SdCi (Deytieux et al., 2012). La démarche se fait en deux phases : une phase de prototypage (boucle verte) et une phase d'expérimentation en parcelle (boucle grise). Ces deux phases sont découpées en 6 étapes décrites dans chacune des parties de ce guide. Celles-ci ne sont pas strictement chronologiques.

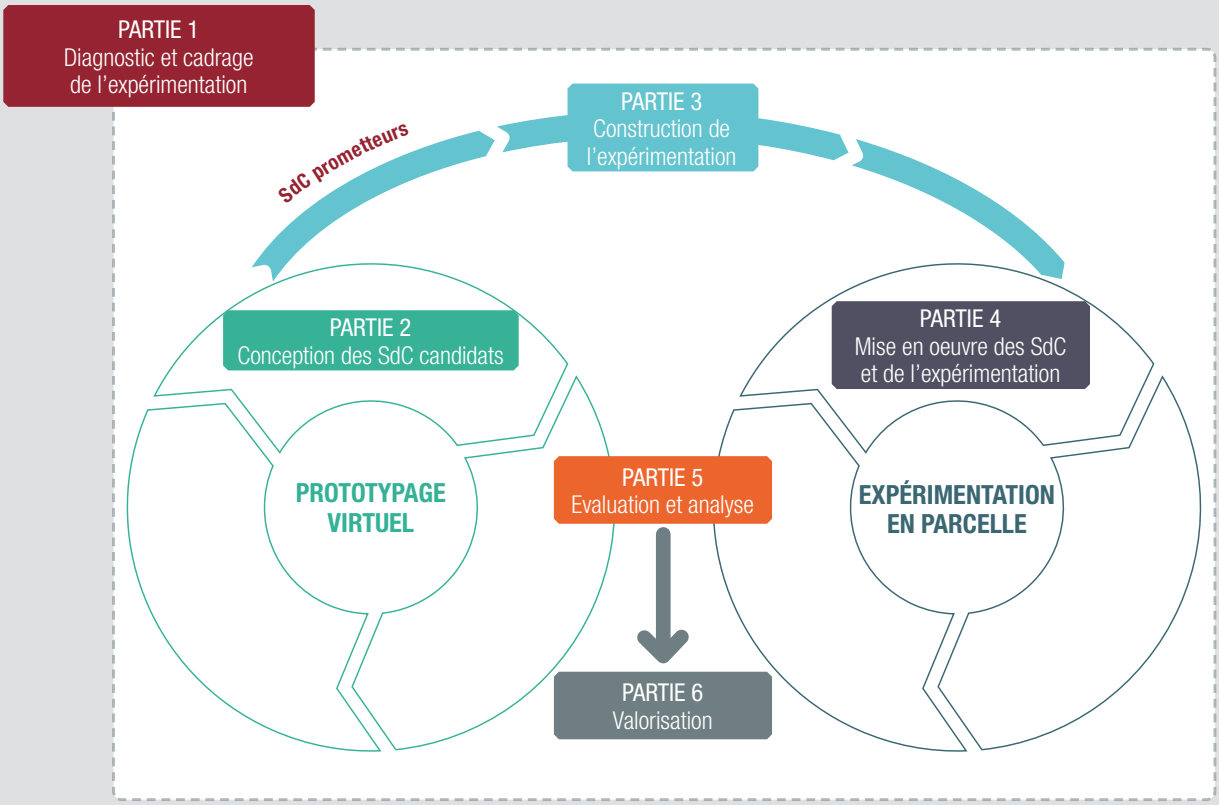
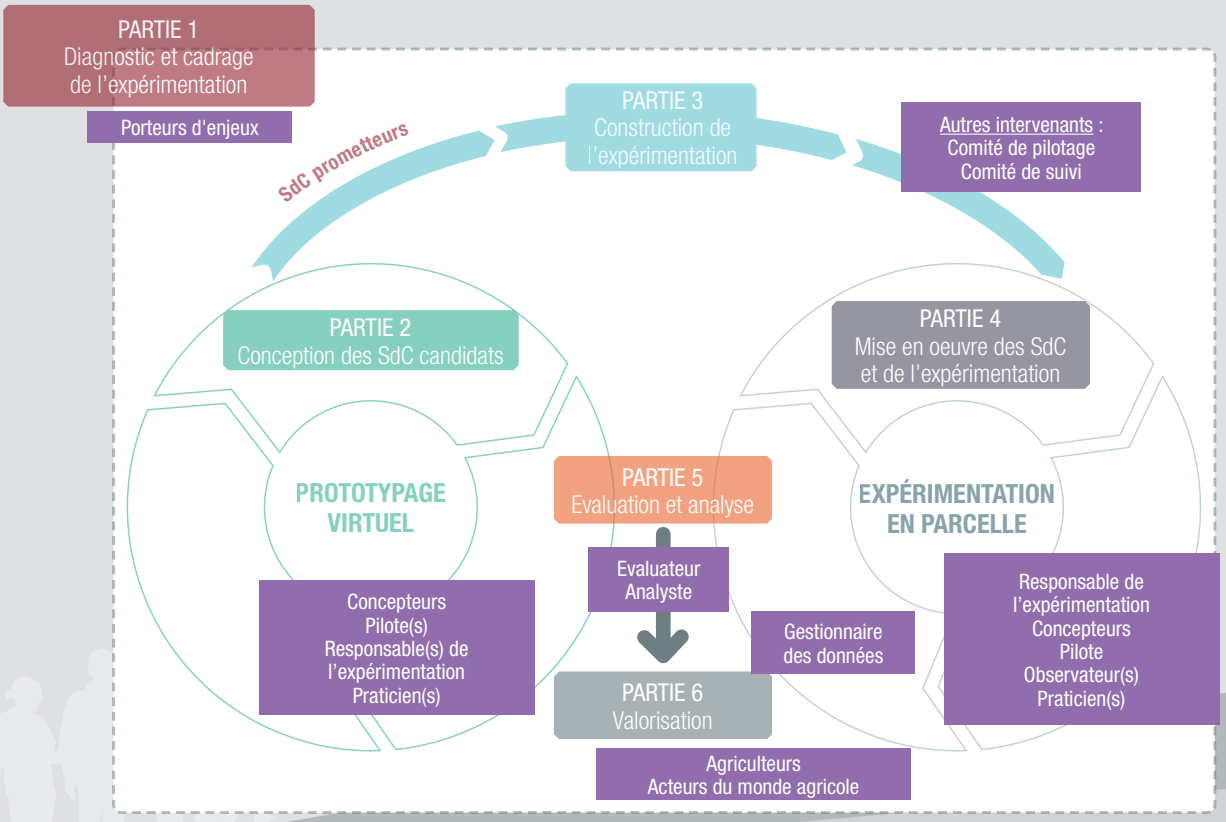


Figure 3 : Les actions à mener et les "rôles" à tenir au cours de la démarche d'expérimentation système.

Les actions sont indiquées dans les encadrés arrondis, les "rôles" dans les rectangles violets.



b. Six étapes d'une expérimentation système

Ce guide propose une démarche en 6 étapes (Figure 2) :

1 - **Diagnostic et cadrage général de l'expérimentation système**
2 - **Conception du ou des systèmes de culture à tester en fonction des attentes**
3 - **Construction de l'expérimentation** (dispositif, choix ou non d'un SdC de référence*, répétitions, …)
4 - **Mise en œuvre des systèmes et de l'expérimentation** (pilotage, suivi et observations …),
5 - **Evaluation et analyse du fonctionnement du système testé** atteinte des objectifs, faisabilité, performance…)
6 - **Valorisation de l'expérimentation système**

Le détail des actions à réaliser à chaque étape est donné dans le Tableau 3 (page 28). La Figure 2 sert de fil rouge tout au long de ce guide.

c. Rôles associés

L'expérimentation système mobilise un collectif, chacun ayant un ou plusieurs rôles en fonction de ses compétences (Figure 3).

L'un des points clefs pour la réussite d'une expérimentation système est la bonne coordination entre les différents intervenants et leurs rôles dédiés. Ceci peut être complexe du fait de la diversité des structures d'origine, des fonctionnements de pensée et d'organisation. Cela nécessite donc une communication efficiente entre les intervenants (Fiorelli *et al.*, 2014).

Les rôles définis sont :

- **Les porteurs d'enjeux**, en charge d'identifier les enjeux prioritaires du projet, ainsi que les problématiques et objectifs qui en découlent, pendant la phase de cadrage,
- **Le responsable de l'expérimentation** ou **coordinateur**, garant de la cohérence et de l'efficacité du dispositif vis-à-vis du cadrage et des objectifs définis,
- **Les concepteurs**, en charge de la conception des prototypes* de systèmes de culture permettant *a priori* d'atteindre les objectifs définis,
- **Le pilote***, responsable de la mise en œuvre du système au quotidien,
- **Les observateurs**, en charge de la réalisation des observations, mesures et enregistrements nécessaires à la bonne mise en œuvre du système, aux évaluations et aux analyses,
- **Les praticiens**, qui mettent en œuvre les techniques,
- **Le gestionnaire des données**, en charge de rassembler et valider l'ensemble des données collectées par les observateurs,
- **L'évaluateur**, qui met en œuvre les différentes évaluations et doit transmettre et expliciter ses résultats à l'analyste,
- **L'analyste**, qui interprète l'ensemble des résultats obtenus sur l'expérimentation. Il analyse les résultats des évaluations (notamment grâce au diagnostic agronomique*) autant que les effets des règles de décision ou des stratégies.

Le pilote, le responsable d'expérimentation et l'analyste sont principalement à l'origine des propositions d'ajustement et d'évolution des systèmes ainsi que de la valorisation.

Une personne peut jouer plusieurs rôles en fonction de ses compétences et savoir-faire.

Tableau 3 : Les différentes actions à mener durant une expérimentation système.

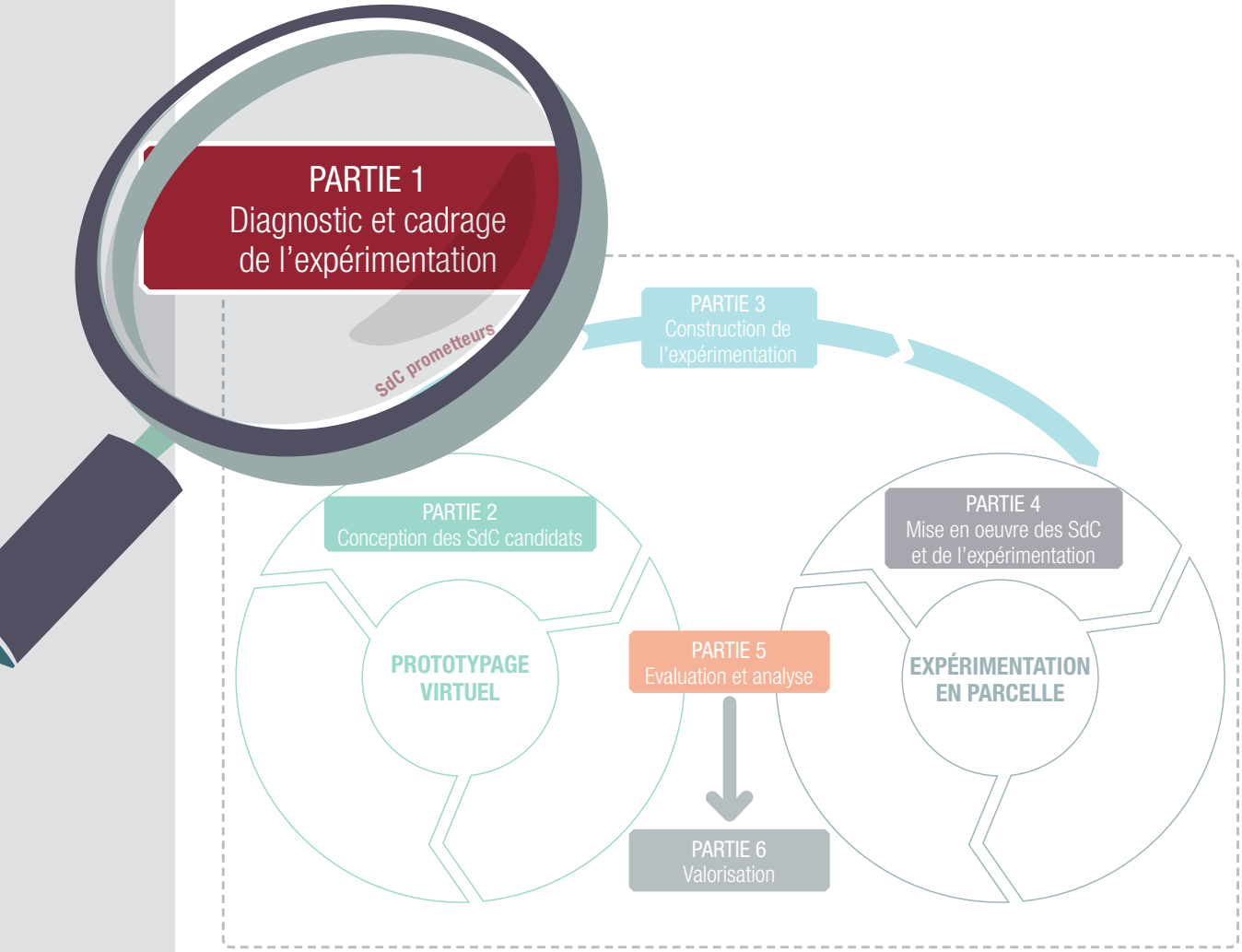
Pour plus de détails, se référer aux différentes parties du guide, les numéros des actions de la première colonne correspondant aux numéros des différentes parties du guide.

Actions	Détails de l'action	Coordination par le responsable de l'expérimentation
1 - Diagnostic et cadrage de l'expérimentation	- **Identification et hiérarchisation des enjeux, des problématiques et des objectifs assignés aux SdC**	- **Veille** à ce que les personnes impliquées comprennent de la même manière les enjeux, les problématiques, les objectifs, et qu'elles acceptent les décisions prises
2 - Conception des prototypes de SdC	- **Identification** des attentes du pilote et du responsable de l'expérimentation - **Conception des prototypes de SdC candidats** - **Evaluation des prototypes de SdC candidats *a priori (ex ante)* puis choix des plus prometteurs** - **Adaptation** du prototype de SdC prometteur au contexte du site d'expérimentation, aux moyens… - **Evolution** du SdC (RdD, stratégies) si besoin ou **confirmation de son orientation** après les évaluations et analyses	- **Veille** à l'équilibre des savoirs et des compétences entre chaque acteur participant à la conception - **Veille** à ce que chacun s'exprime librement dans les ateliers de conception
3 - Construction de l'expérimentation	- **Construction** du dispositif expérimental (choix des éléments du dispositif) - **Rédaction** des protocoles de suivi de l'expérimentation pour les observations et mesures nécessaires et suffisantes pour (1) piloter le système, (2) évaluer le SdC et (3) analyser les résultats agronomiques du système - **Rédaction** des fiches de notation, de suivi… - **Description** du prototype de SdC prometteur de façon suffisamment détaillée pour permettre sa mis en œuvre - **Réalisation** d'un planning prévisionnel de l'ensemble des tâches à accomplir - **Caractérisation**, le cas échéant, de l'état initial des parcelles en fonction des objectifs poursuivis et des hypothèses formulées	- **Rassemble** les moyens et les acteurs pour choisir et mettre en œuvre le dispositif expérimental - **Distribue** les rôles, planifie la mise en place et le déroulement de l'expérimentation
4 - Mise en œuvre de l'expérimentation	- **Réalisation** des observations agronomiques nécessaires à l'application des RdD et **prise de décisions** pour intervenir ou non au champ - **Réalisation et enregistrement** des interventions culturales - **Réalisation et enregistrement** des observations et des mesures au champ, suite à l'application des RdD ainsi que celles nécessaires à l'évaluation des performances - **Réalisation des observations** et des mesures au champ nécessaires aux analyses - **Validation et qualification** (bonne, moyenne, mauvaise,…) des interventions des praticiens, que ces interventions soient régies par des RdD ou pas - **Rassemblement** des données technico-économiques et sociales - **Rassemblement et validation** de l'ensemble des observations réalisées par l'observateur	- **S'assure** que les objectifs, résultats visés et stratégies de gestion du système sont conservés - **Veille** à la qualité et à l'intégrité du suivi de l'expérimentation - **Coordonne** l'action des intervenants dans l'expérimentation - **Assure** le dialogue entre les différents intervenants
5 - Evaluation et analyse des résultats	- **Evaluation** de la faisabilité technique et de la cohérence agronomique - **Evaluation** des résultats techniques et agronomiques - **Conduite** d'un diagnostic agronomique - **Evaluation** des performances des SdC - **Analyse** des évaluations - **Proposition** d'évolutions des protocoles et/ou des RdD, des stratégies, des objectifs…	- **Analyse et discute** l'évaluation avec le collectif
6 - Valorisation des expérimentations système	- **Réalisation et diffusion** des synthèses - **Adaptation** des interventions au public	- **S'assure** que les acteurs du collectif soient porteurs de l'expérimentation et participent à la valorisation de l'ensemble des résultats

Figure 4 : Etape 1 de diagnostic et cadrage de l'expérimentation système (adapté de la méthodologie du RMT SdCi, Deytieux *et al.*, 2012).

Ce qu'il faut produire...

- **définition du contexte et de la situation de production, des enjeux, problématiques et objectifs du SdC, des hiérarchisations**
- **liste des atouts, menaces, opportunités et contraintes de l'environnement du SdC**



PARTIE 1
Diagnostic et cadrage général de l'expérimentation système

Il s'agit de définir les enjeux*[1], les problématiques et les objectifs* à atteindre, dans une situation de production définie, entre autres, par ses opportunités et contraintes (figure 4). Le rôle de l'expérimentation système* est de mettre au point des systèmes de culture (SdC) et de vérifier qu'ils peuvent atteindre les objectifs qui leurs sont assignés.

Un bon cadrage est indispensable à la conception des SdC (Partie 2 / Conception), à la construction de l'expérimentation* (Partie 3 / Construction de l'expérimentation) ainsi que lors des évaluations (Partie 5 / Evaluation et analyse). Il permet également de faciliter la compréhension des tenants et aboutissants d'une expérimentation système par les destinataires ciblés ainsi que par l'ensemble des intervenants sur l'expérimentation lors de la valorisation des résultats* (Partie 6 / Valorisation).

Ce qu'il faut produire à cette étape

- **description du contexte et de la situation de production**
- **liste d'enjeux hiérarchisés**
- **liste de problématiques hiérarchisées**
- **liste d'objectifs hiérarchisés du ou des systèmes de culture**
- **liste des atouts, menaces, opportunités et contraintes de l'environnement du système de culture*.**



Pour en savoir plus...

A quoi la hiérarchisation des enjeux et problématiques sert-elle ?

La hiérarchisation des enjeux, des problématiques puis des objectifs permettra de :

- mieux orienter la conception des prototypes* de systèmes (Partie 2 / Conception),
- prioriser les observations, mesures... à réaliser durant l'expérimentation en conditions réelles (Partie 3 / Construction de l'expérimentation), si l'on se retrouve avec des contraintes de temps ou de personnel par exemple.

1 Les mots signalés d'un * sont définis dans le glossaire, à la fin du guide.

Tableau 4 : Eléments des contextes de production.

Biophysique	Socio-économique	Socio-culturel
Pédologie	Circuit de commercialisation (court...)	Normes formelles (réglementation)
Climat	Disponibilité de la main d'œuvre	Perception du voisinage
Topographie	Sécurité du contexte (prix de vente fixé, quotas …)	Organisation du travail
Bioagresseurs dominants	Type de production (de vente, auto-consommé…)	...
Stress abiotiques	Certifications, cahier des charges	
Caractéristiques du matériel végétal et des éléments structurels	Critères* de qualité	
…	Réglementations	
	Santé financière, budget	
	Engagements contractuels (CTE, MAE)	
	...	

Encadré 1 : Exemple d'enjeu, de problématique et d'objectif dans le domaine de la viticulture.

Enjeu : Adaptation de la production viticole aux changements climatiques

Problématique : Comment limiter le taux alcoométrique volumique des vins produits alors que le contexte climatique entraine naturellement une augmentation de celui-ci ?

Objectif :

Produire des raisins à maturités aromatique et phénolique satisfaisantes tout en limitant le taux de sucre.



1. Cadrage initial, avec identification des enjeux et des problématiques

Plusieurs **enjeux** (Partie introductive) et plusieurs **problématiques** peuvent être identifiés. Il faut alors les **hiérarchiser** de manière à savoir lesquels sont considérés comme prioritaires, ce qui peut être difficile car la perception des enjeux est variable dans le temps et entre les acteurs.

Il existe deux façons d'identifier ces enjeux et les problématiques qui en découlent.

a. À partir d'un état des lieux

Il s'agit de :

1 - Définir la situation de production, c'est-à-dire les composantes biologiques, physiques et chimiques d'une parcelle (ou d'un agroécosystème) et de son environnement, exceptée la culture, ainsi que les déterminants socio-économiques qui vont influencer les décisions du producteur. Le terme environnement désigne le climat et le territoire (le paysage et acteurs associés) influençant directement ou indirectement la parcelle concernée. La situation de production détermine les résultats agronomiques et techniques du système et ses performances* (Aubertot et Robin, 2013).

2 - Définir la ou les échelles de travail spatiales (exploitation, pays, région, territoire, zones protégées), et organisationnelles (filières, systèmes agro-alimentaires) en fonction des objectifs expérimentaux.

3 - Identifier les acteurs concernés à cette échelle (agriculteurs, acteurs de la recherche, acteurs du développement, acteurs des filières, associations, pouvoirs publics...).

4 - Identifier et formaliser les enjeux, en s'appuyant soit sur une confrontation entre ces acteurs, soit sur une perception individuelle de la situation (Partie 1/ Diagnostic* et cadrage, paragraphe 3 "Identification des opportunités et contraintes").

5 - Hiérarchiser ces enjeux (lesquels sont prioritaires dans le contexte considéré ?).

6 - Définir et formaliser les problématiques qui découlent de chaque enjeu identifié.

Ces étapes sont interdépendantes et pas forcément à réaliser chronologiquement. Un exemple est donné dans l'encadré 2 (page 34).

Pour définir la situation de production, les principaux éléments de contexte à décrire sont détaillés dans le Tableau 4.

Encadré 2 : Exemple de diagnostic et cadrage appliqué à la filière pêche française dans le cadre de DEPHY EXPE ECOPECHE (Inra, Avignon 84 ; Plénet et Simon, 2015).

1 - Cadrage initial, avec identification des enjeux et des problématiques

Les enjeux identifiés dans le cadre de la filière pêche sont :

A. Maintien de la compétitivité des entreprises dans un milieu très concurrentiel

B. Production de pêches de très bonne qualité gustative

C. Réduction des impacts potentiels liés à l'usage des produits phytosanitaires et autres intrants

Les problématiques associées sont les suivantes :

A. Comment maîtriser ou réduire les coûts de production ?

B. Comment élaborer des fruits de qualité (teneur en sucre, calibre) sans impacter le rendement ?

C. Comment réduire l'utilisation des produits phytosanitaires sans augmenter les dégâts et pertes de récolte ?

2 - Identification des objectifs des SdC

A. Maintenir ou améliorer la marge tout en réduisant les phytosanitaires, les intrants et les coûts de main d'œuvre

B. Augmenter le pourcentage de fruits de bonne qualité (commerciale et gustative)

C. Avoir un usage réduit en phytosanitaires (IFT = - 50 % par rapport à l'IFT de référence* régionale)

3 - Identification des atouts, contraintes, opportunités et menaces associées

Atouts	Contraintes	Opportunités	Menaces
Synergie entre certaines techniques* améliorant la qualité des fruits (pilotage de l'irrigation…) et la réduction de la sensibilité des fruits aux maladies de conservation (monilioses)	Qualité et niveau de production très sensibles aux aléas climatiques	Forte demande de la filière pour de l'innovation* technique, en particulier la mécanisation de certains chantiers	Coûts de production élevés par rapport à certains pays producteurs visant le marché de l'exportation
Systèmes de production reposant sur une forte maîtrise technique	Pilotage de l'irrigation assez technique si réduction des quantités d'eau par rapport au bilan hydrique	Demande des consommateurs pour des fruits à la fois sans résidus de pesticides et de bonne qualité gustative	Coût de la main d'œuvre unitaire en France très supérieur aux pays concurrents
Système d'irrigation et OAD* pour un pilotage précis de l'irrigation. Les systèmes d'irrigation localisée participent au contrôle des adventices en été	Forte sensibilité de la croissance du fruit aux contraintes hydriques même assez modérées	Une demande de fruits de qualité d'origine France en augmentation dans les circuits de distribution	Recherche d'une réduction des coûts par une forte intensification de la production (rendement élevé, ITK intensif…) impactant la qualité des fruits
Espèce peu alternante ce qui peut permettre de prendre plus de risques certaines années	Absence de matériel végétal offrant une bonne tolérance aux principaux bioagresseurs du pêcher	Développement de circuits courts, d'un marché "fruits de qualité"	Politique de réduction des intrants, en particulier produits phytosanitaires (contrainte réglementaire forte)
	Peu d'OAD pour gérer les bioagresseurs	Demande d'une amélioration de la durabilité* des systèmes de production par la société	Normes commerciales et sanitaires incitant aux fruits sans défaut mais pas à une meilleure qualité gustative

4 - Cadrage ajusté, avec révision des objectifs

Les objectifs retenus dans le cadre du projet EcoPêche au final sont les suivants :

A. Augmenter l'efficience d'utilisation des intrants en diminuant les ratios volume d'eau (m^3) / tonne de fruits ; IFT / tonne de fruits…. avec notamment un objectif zéro herbicide car les sols adaptés aux exigences édaphiques du pêcher s'avèrent aussi très vulnérables au lessivage (herbicides, nitrates).

A'. Préserver et/ou améliorer la marge commerciale en améliorant l'indicateur* temps de travail (heures / tonne de fruits commercialisée en calibre A et plus), et en maintenant la marge nette.

B. Produire des pêches de très bonne qualité (augmentation du pourcentage de calibre A et plus fortes teneurs en sucres solubles)

C. Améliorer / préserver certaines fonctions* écologiques pour augmenter la durabilité de l'agroécosystème

b. À partir d'éléments imposés au préalable par des commanditaires

Dans ce type de situation, les enjeux prioritaires sont identifiés et formalisés par des commanditaires comme les financeurs publics ou privés, les associations... L'expérimentateur et ses partenaires sont libres d'ajouter des enjeux secondaires qui peuvent également être issus d'un état des lieux. Ils définissent ensuite les problématiques sur lesquelles ils souhaitent travailler dans le cadre posé par ces enjeux.

Par exemple dans l'appel à projet DEPHY EXPE Ecophyto, l'enjeu de protection de l'environnement et de santé publique vis-à-vis des produits phytosanitaires a été fixé à l'avance par les pouvoirs publics. La problématique traitée dans DEPHY est "Comment limiter l'usage des produits phytosanitaires ?".

Selon les dispositifs, les expérimentateurs peuvent traiter d'autres problématiques, comme : "Comment limiter le transfert des produits phytosanitaires dans l'environnement ?", "Comment protéger la santé des applicateurs des produits phytosanitaires ?", "Comment limiter les fuites d'azote dans les eaux souterraines ?".

2. Identification des objectifs des systèmes de culture

Les objectifs des systèmes découlent des problématiques. Un objectif est ce que l'on souhaite atteindre, au regard des enjeux. Il implique généralement des changements par rapport aux systèmes actuels.

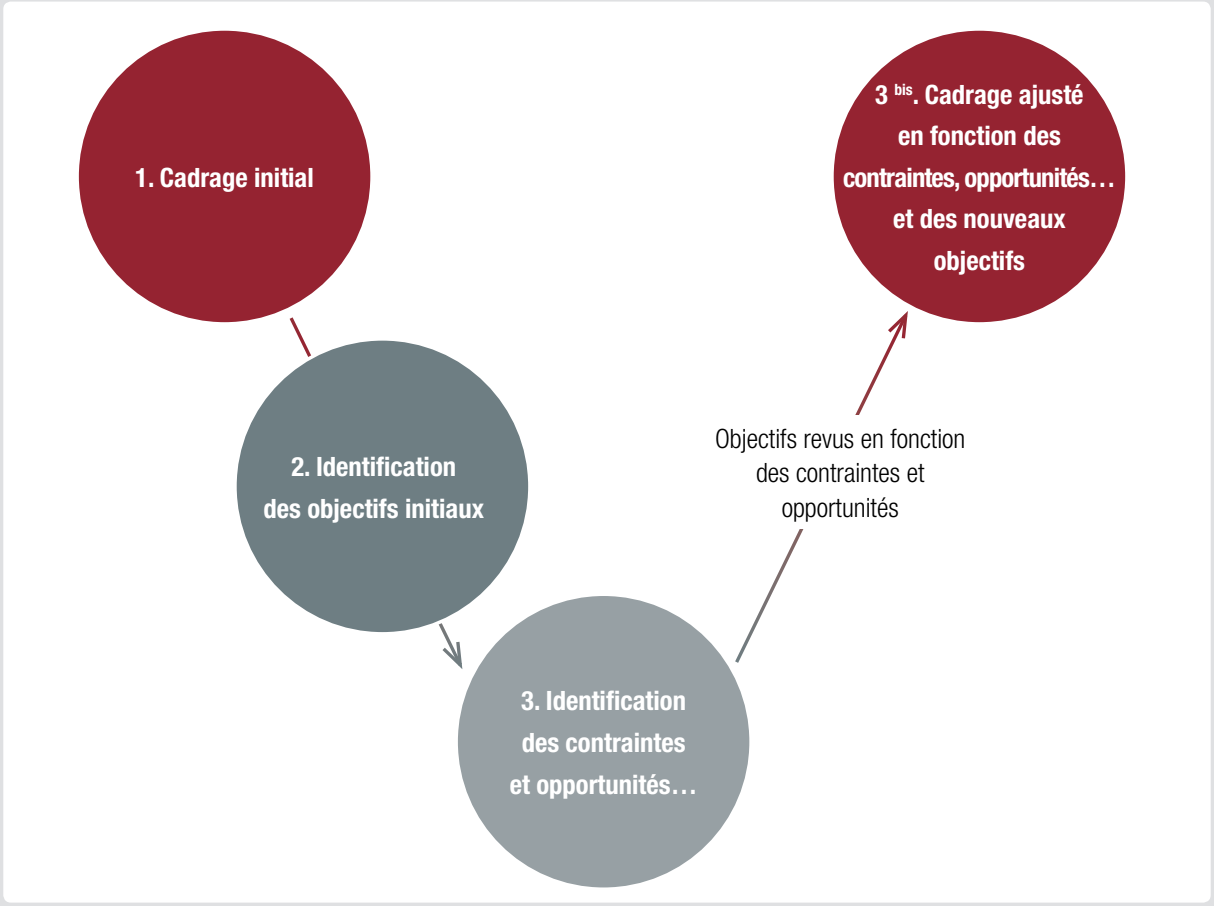
Il est important de les formuler de manière explicite, dans la mesure où ils seront mobilisés :

- pour la conception du système, et l'explicitation des attentes* du pilote* (Partie 2 / Conception),
- pour l'évaluation et l'analyse, en cours et en fin d'expérimentation (Partie 5 / Evaluation et analyse),
- pour la valorisation des résultats et la communication (Partie 6 / Valorisation).

Plusieurs objectifs peuvent être visés pour un système donné. Certains peuvent être difficilement conciliables, il est donc important de les hiérarchiser (exemple d'enjeux, de problématiques et d'objectifs dans le domaine de la viticulture encadré 1 (page 32), ainsi que pour la culture de la pêche dans l'encadré 2 ci-contre).

Figure 5 : Représentation des étapes permettant d'aboutir à un bon cadrage de l'expérimentation.

Le cadrage d'une expérimentation n'est pas linéaire, il s'agit d'adapter ce que l'on souhaite réaliser avec ce qu'il est possible de réaliser compte-tenu des contraintes en présence.



3. Identification des opportunités et contraintes vers un cadrage ajusté

A partir de l'état des lieux et des éléments de contexte du Tableau 4 (page 32), il faut identifier :

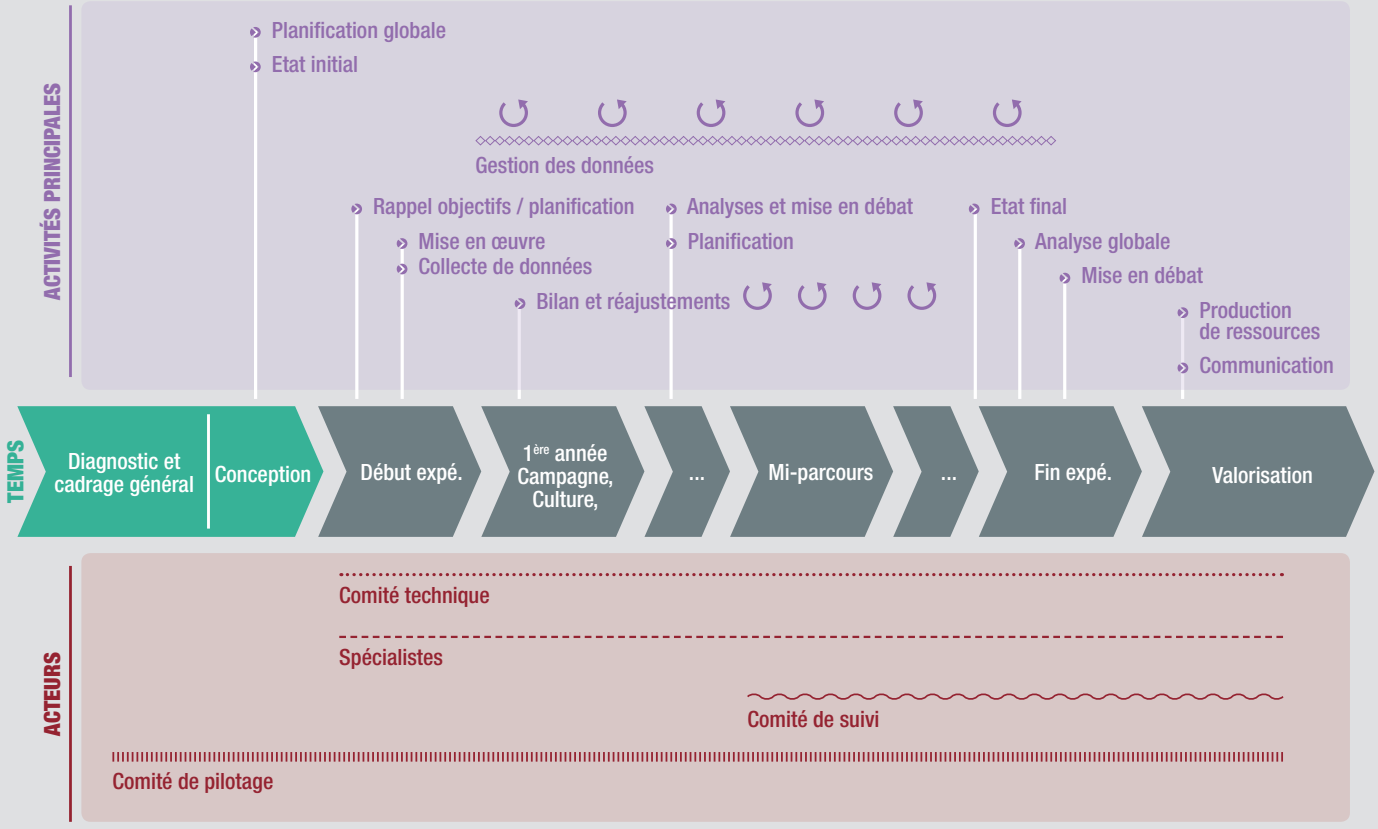
- les **atouts**, éléments positifs et forces d'origine interne sur lesquels on peut s'appuyer,
- les **contraintes** et faiblesses d'origine interne (par exemple, la disponibilité des moyens matériels, comme le matériel de désherbage mécanique...),
- les **opportunités**, éléments positifs d'origine externe,
- les **menaces**, éléments négatifs d'origine externe (débouchés de la filière…).

L'analyse des atouts, contraintes, opportunités et menaces permet d'ajuster, si nécessaire, les enjeux, problématiques et objectifs retenus (paragraphes 1 et 2), ainsi que leur hiérarchisation en vue de les valider définitivement (Figure 5).

Cette étape de cadrage, si elle est bien réalisée, offre une base solide à la suite de l'expérimentation système. Il est important d'assurer la traçabilité des choix qui sont faits, de leurs argumentaires et de la prise de décision, par exemple dans les compte-rendus du comité de pilotage...

Deux exemples de diagnostic et cadrage sont présentés sur la filière pêche française (encadré 2, page 34) et sur la production cotonnière en Afrique Sud-saharienne (Annexe 1, page 127).

Figure 6 : Gouvernance et mise en œuvre de la démarche d'expérimentation système, du cadrage à la valorisation, avec les principales actions (adapté de Deytieux *et al.*, présentation faite lors de l'école thématique du GIS PIClég du 29 septembre 2014). La gouvernance s'organise avec un comité de pilotage, un comité technique et, le cas échéant, un comité de suivi, avec des périodicités adaptées en fonction de leurs rôles respectifs. Au cours du temps, différentes actions (indiquées en violet) sont à réaliser, certaines sont uniques (état initial des parcelles) et d'autres à répéter chaque année, à chaque culture (flèche circulaire).



4. Gouvernance de l'expérimentation

Beaucoup d'expérimentations système sont organisées en "projet" avec un comité de pilotage, un comité de suivi, un comité technique (Figure 6).

Le **comité de pilotage** (décisionnaires, financeurs…) va décider des grandes orientations du projet et sera réuni régulièrement au cours de l'expérimentation (une fois par an au minimum).

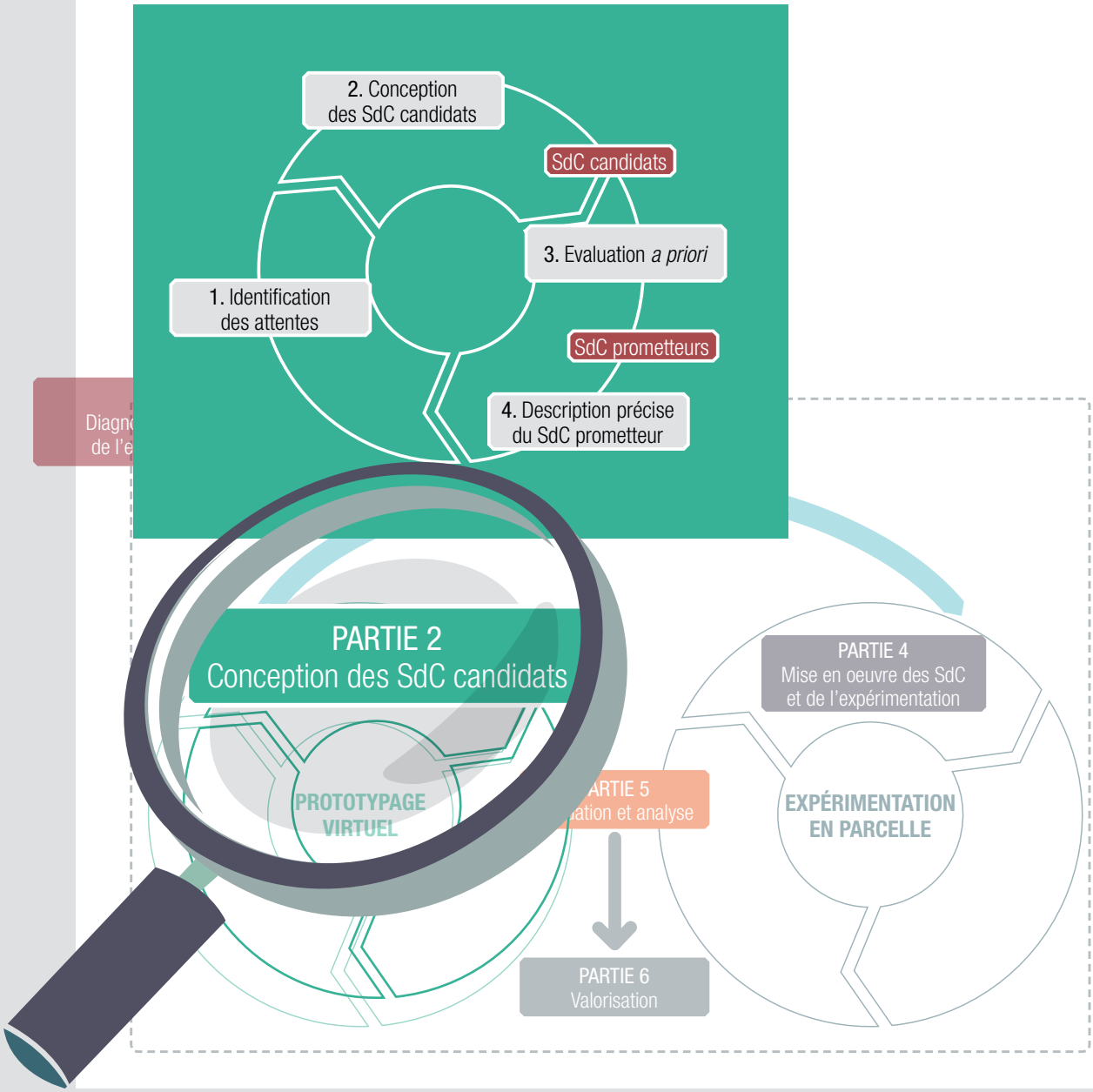
Le **comité technique** (expérimentateurs du projet) va préciser les orientations décidées lors du comité de pilotage, va prendre les décisions relatives à la mise en œuvre de l'expérimentation au quotidien. Il sera réuni aussi souvent que nécessaire.

Le **comité de suivi** (experts souvent extérieurs), parfois mobilisé, va donner des avis et conseils, alimenter les discussions. Il sera réuni de manière à tenir informés les différents acteurs engagés dans le projet.

Figure 7 : Etape 2 de conception de prototypes de systèmes à tester en expérimentation système (adapté de la méthodologie du RMT SdCi, Deytieux *et al.*, 2012).

Ce qu'il faut produire...

- prototype(s) de systèmes candidats
- prototype(s) de systèmes prometteurs



PARTIE 2
Conception de prototypes de système de culture

Afin de répondre aux problématiques identifiées lors de l'étape de cadrage, il faut d'abord concevoir un ou des prototypes*[1] de système de culture* (SdC) permettant *a priori* d'atteindre les objectifs* visés. Cette conception se déroule en 4 étapes (Figure 7) :

1. détermination des attentes* à partir des objectifs
2. conception du ou des prototypes de systèmes de culture candidats
3. évaluation* *a priori* et discussion de ces prototypes pour en sélectionner les plus prometteurs
4. description du ou des prototypes prometteurs à tester en expérimentation système* au champ

Ce qu'il faut produire à cette étape

- **prototype(s) de systèmes candidats décrits sommairement avec des objectifs, attentes, principales stratégies*, grandes lignes du système décisionnel et du système pratiqué prévisionnel**
- **prototype(s) de systèmes prometteurs à tester en conditions réelles et décrits précisément, à l'aide d'un système pratiqué prévisionnel.**

Pour en savoir plus

La hiérarchisation des enjeux*, des problématiques, puis des objectifs permettra de :

- mieux orienter la conception des prototypes de système,
- prioriser les observations, mesures... à réaliser durant l'expérimentation en conditions réelles (Partie 3 / Construction de l'expérimentation), si l'on se retrouve avec des contraintes de temps ou de personnel par exemple.

1 Les mots signalés d'un * sont définis dans le glossaire, à la fin du guide.

Tableau 5 : Exemples d'attentes pour la conception.

	Pilote* du SdC	Responsable d'expérimentation
Protection des cultures	Ne pas observer d'augmentation des ronds de chardon sur la parcelle (idéal du pilote)	IFTh < 3,4 (référence* régionale)
Gestion azote	Repousses réussies de colza : couverture 80 %, biomasse > 1,5 kg/m² (référence : données régionales moyennes)	Teneur en NO_3^- dans la lame drainante ≤ 30 mg/L
Energie et gaz à effet de serre (GES)	Quantité de carburant consommé < Quantité de carburant consommé du SdC de référence.	Consommation énergétique < 26 600 MJ/ha
…		

1. Identification des attentes

Les attentes (aussi appelées résultats* attendus) sont explicitées à partir des objectifs assignés au système. Des indicateurs* sont utilisés pour traduire ces attentes. Ils peuvent être quantitatifs et/ou qualitatifs (Tableau 5).

L'identification précise des attentes facilite l'évaluation des performances* du système testé. On distingue les attentes :

- du pilote, en termes de maîtrise technique et de réussite agronomique, qui permettent d'expliciter le niveau de satisfaction,
- du responsable de l'expérimentation, qui porte ses propres objectifs et, pour partie, ceux des commanditaires.

Pour aider à la définition de ces attentes, les questions à se poser peuvent être :

« Compte tenu des objectifs du système, quels sont les éléments qui vont déterminer la satisfaction du pilote et du responsable de l'expérimentation ? Qu'est-ce qui fait que je suis satisfait de mon système ? », « Quand est-ce que cela a échoué ? »…

Les attentes peuvent être définies dans l'absolu ou relativement à une référence* (Acosta-Alba et van der Werf, 2011). Cette référence peut être :

- **fixe**, c'est-à-dire basée sur des résultats techniques, scientifiques ou sur des normes réglementaires (choix de société…). Ce sont des repères communs mis en lien de manière indirecte avec les pratiques agricoles, avec par exemple, la teneur en nitrate de la lame drainante inférieure à 30 mg/L,
- **évolutive**, notamment définie à partir du SdC de référence (Partie 3 / Construction), avec par exemple, l'IFT du SdC testé inférieur de 50 % à l'IFT du SdC du producteur voisin.

Les attentes peuvent être difficiles à positionner *a priori*, cela peut prendre du temps, mais cela facilite la compréhension du système par des tiers, ainsi que le travail d'évaluation (Partie 5 / Evaluation et analyse).

2. Conception du ou des prototypes de systèmes de culture candidats

La conception de prototypes de systèmes de culture peut se faire à dire d'experts lors d'ateliers de conception qui mobilisent l'intelligence collective (Lançon *et al*., 2008 ; Mischler *et al.*, 2008 ; Le Gal *et al*., 2010 ; Reau *et al.*, 2012…) ou être assistée par des modèles (Jeuffroy *et al.*, 2008 ; Bergez *et al*., 2010)… Elle peut être couplée avec une évaluation multicritère* *a priori*, ce qui permet de tester rapidement un large panel de combinaisons de techniques*. Le ou les prototypes de systèmes conçus seront à évaluer en vue de déterminer celui ou ceux qui seront ensuite testés au champ.

Dans ce guide, le choix est fait de se centrer sur les ateliers de conception, qui facilitent ensuite l'appropriation du système de culture à tester par les parties prenantes.

a. Deux types de conception : "*de novo* " ou "pas à pas"

La **conception "*de novo*"** permet de concevoir des systèmes de culture en rupture forte avec l'existant. Elle consiste à ouvrir le champ des possibles sans brider l'inventivité, en mobilisant l'ensemble des techniques potentielles, validées ou pas.

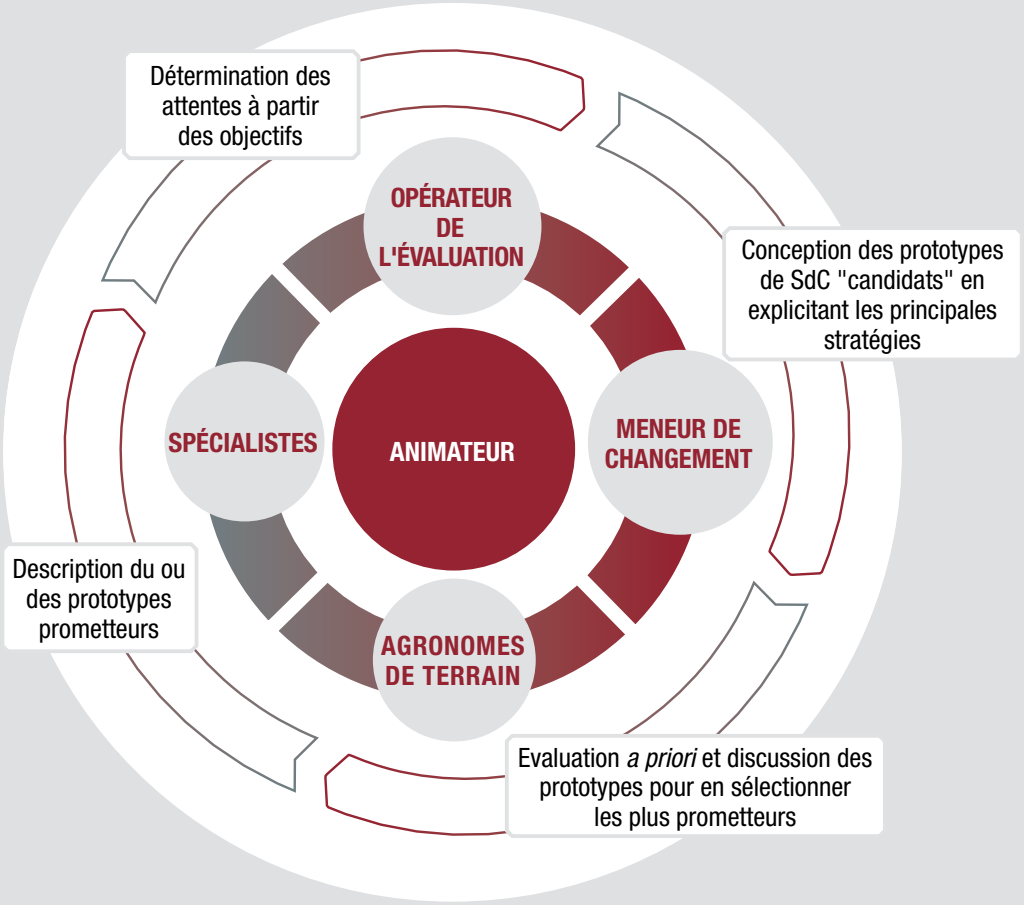
La **conception "pas-à-pas"** permet de concevoir des systèmes de culture en rupture moins forte et cherche à organiser une transition progressive vers des systèmes innovants*, en s'appuyant sur des boucles d'apprentissage. Dans la conception pas à pas, l'exploration est plus prudente, mais présente l'avantage de s'adapter aisément aux contraintes spécifiques de chaque situation agricole. L'appropriation du système de culture est donc plus aisée par le pilote de l'expérimentation, ceux-ci étant impliqués généralement dans les discussions et évolutions, ainsi que, *in fine*, par les producteurs souhaitant faire évoluer leurs systèmes (Meynard, 2012 ; Meynard *et al.*, 2012).

b. Conception initiale ou en continu

Dans la conception initiale, le prototype de système retenu est figé au moment de la mise en place au champ. Des ajustements de règles de décision* (RdD) pourront être réalisés (Partie 4 / Mise en œuvre) pour s'adapter aux conditions réelles, aux imprévus…

La conception en continu (ou "au fil de l'eau") se fait durant la mise en œuvre sur les parcelles, grâce à des allers-retours rapides entre amélioration du système et évaluation de l'effet de ces modifications. Il faut alors veiller à rester cohérent par rapport aux objectifs et attentes du système tels qu'ils ont été imaginés initialement. Leurs résultats plus évolutifs sont délicats à interpréter car les systèmes de culture sont moins homogènes sur le long terme. Des modifications importantes pourront conduire les expérimentateurs à considérer que plusieurs systèmes ont en fait été testés : dans ce cas, il est préférable de les évaluer séparément (Partie 5 / Evaluation et analyse).

Figure 8 : Les 5 rôles à jouer dans un atelier de conception (adapté de Reau *et al.*, 2012).





Atelier de conception de systèmes de culture.

c. Cinq principaux rôles des acteurs d'un groupe de conception

La conception de prototypes de systèmes de culture est plus riche d'idées et plus efficiente dans le cadre de collectifs rassemblant des compétences, des métiers et des expériences complémentaires. La plus-value de l'activité de conception est de s'appuyer sur l'intelligence collective.

L'analyse de l'activité des acteurs réunis dans un atelier de conception souligne l'intérêt et l'importance des 5 rôles suivants (Reau *et al.*, 2012) présentés dans la Figure 8 : l'animateur, le ou les spécialistes, le ou les agronomes de terrain, le "meneur de changement" et l'"opérateur de l'évaluation".

L'animateur a pour mission d'organiser la gestion des différentes activités collectives, de distribuer les tâches individuelles et de veiller au bon déroulement de l'activité de conception. L'animateur doit bien identifier les compétences à réunir et être conscient de ces rôles pour qu'ils soient tous remplis. Il joue un rôle déterminant pour la réussite d'un atelier.

Les spécialistes dans un domaine ou une thématique (ou "savants en connaissances exploratoires") ont pour mission d'apporter des savoirs et des savoir-faire déjà disponibles ou sur le point d'aboutir, permettant, le cas échéant, de répondre aux enjeux visés. Ils proposent ainsi de nouvelles idées, de nouvelles pistes. Concrètement, ces connaissances portent sur des concepts agronomiques (agroécologie, gestion de l'azote, protection intégrée, réduction des émissions de GES…), des mécanismes (cycle d'adventices, prédation d'un ravageur, émissions de N_2O et cycle de l'azote…), 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 présentes dans le collectif.

Les agronomes de terrain (ou "savants en connaissances localisées") sont porteurs de connaissances sur les systèmes 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). Ils mettent en cohérence les pratiques agricoles avec les résultats techniques et le contexte. Ils fournissent une première analyse sur la cohérence, comme sur la faisabilité des systèmes nouveaux qui sont proposés.

Le "meneur de changement" est capable non seulement de proposer des idées nouvelles mais aussi d'amener les autres à en proposer. Il a une posture, qui contribue à guider le collectif vers de nouvelles pistes. Son rôle est de catalyser l'exploration des possibles.

L'"opérateur de l'évaluation" réalise les évaluations de performances à partir de la description des prototypes de système de culture et, le cas échéant, du système de culture de référence. Ceci peut être mené en direct ou bien entre les séquences de conception si plusieurs rencontres ont été prévues. Il doit vérifier l'adéquation entre les objectifs visés et les propositions faites en atelier.

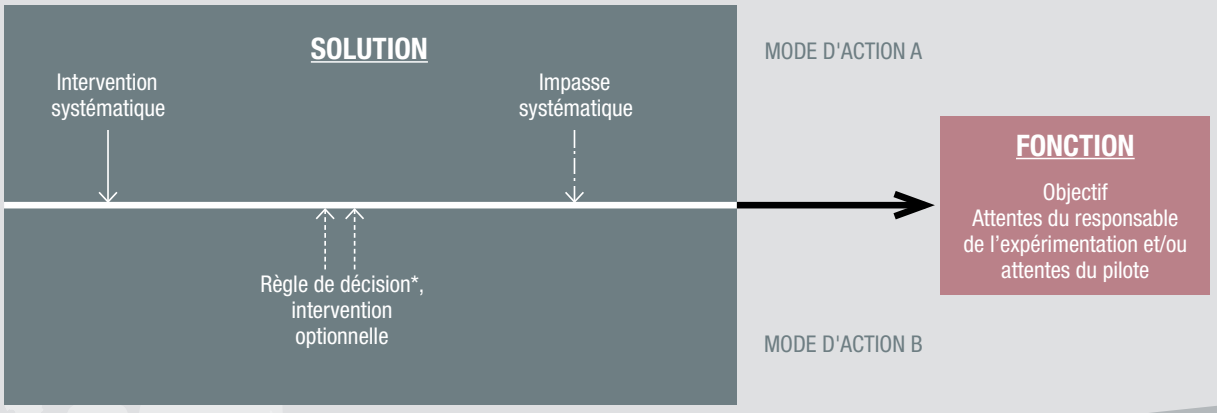
Chaque rôle peut être assuré par plusieurs personnes, une même personne peut assurer plusieurs rôles. Il est important que chaque rôle soit bien rempli, pour faciliter la réussite de l'atelier.

Tableau 6 : Mise en pratique des ateliers de conception.

Etapes de la conception	Recommandations pour la mise en œuvre	Trucs et astuces
Détermination des attentes à partir des objectifs	L'animateur rappelle les éléments de cadrage à l'ensemble des participants. Ceci permet de partager les objectifs du SdC et les attentes, ainsi que le contexte dans lequel on se situe.	
Conception des prototypes de SdC "candidats" en explicitant les principales stratégies	**Identification des techniques, cultures et éléments structurels** - L'animateur met le groupe dans une posture sans contraintes de filière, de débouché, de matériel… - L'animateur veille à ce que chaque personne s'exprime. - Une phase de partage des connaissances sur les thématiques étudiées est une option possible, si tous les participants ne sont pas à l'aise avec le sujet. - Les participants de l'atelier de conception font des propositions de techniques, cultures, RdD… à l'occasion d'un brainstorming, et les présentent ensuite lors d'un tour de table, en explicitant ces propositions et la fonction* visée. - L'animateur réalise ensuite une synthèse, en les organisant par exemple par fonction.	Utiliser des post-it pour le brainstorming, avec la consigne "une idée par post-it".
	Construction du ou des prototypes de système - Les participants font des propositions de prototypes ou de stratégies combinant les techniques, les cultures, les RdD, souvent à l'occasion d'une discussion collective.	Utiliser la structure du schéma décisionnel* pour expliciter les stratégies (Figures 9), en l'affichant de manière visible par tous (paperboard, tableau blanc...).
Evaluation *a priori* et discussion du ou des prototypes	- L'évaluation peut être réalisée en direct, par l'opérateur de l'évaluation, par expertise ou à l'aide d'un calculateur… - L'évaluation peut être réalisée de façon plus complète entre 2 séances de conception, à l'aide d'outils d'évaluation multicritère.	
Description du ou des prototypes de SdC	- La description du système décisionnel et du système pratiqué prévisionnel est finalisée en séance ou lors d'un rendez-vous complémentaire. - Elle est généralement réalisée par l'agronome de terrain et l'animateur (plus d'autres personnes du groupe de conception le cas échéant).	Utiliser la structure du schéma décisionnel et un tableau de description pour le pratiqué prévisionnel (Figures 10, 11 et 15).

Figure 9 : Formalisme en schéma du système décisionnel.

La "tête de la flèche" doit inclure les objectifs et attentes relatifs à la fonction considérée. L'axe de la flèche permet de positionner l'ensemble des règles de décision et interventions, mobilisées pour remplir la fonction considérée. On distingue les interventions systématiques (flèche continue), les interventions optionnelles (pointillé homogène), les impasses systématiques présentées lorsqu'elles ne sont pas habituelles (pointillé hétérogène). Pour plus de lisibilité, l'ensemble des règles de décision et interventions peuvent être organisées par mode d'action ou de manière chronologique.



d. Conception en pratique

Au préalable, il est fortement recommandé de se mettre dans une posture :

- sans contraintes de filière, de débouché, de matériel… pour se concentrer sur les attentes du pilote et du responsable de l'expérimentation,
- d'écoute bienveillante des propositions faites par les participants du collectif.

Après avoir rappelé les éléments de contexte et de cadrage et décrit les objectifs, la méthodologie proposée est la suivante :

- identifier les techniques, les cultures, les éléments structurels (matériel végétal, densité de plantation, équipements avec abris, palissage…), les règles de décision (RdD)… permettant de répondre aux attentes, en élargissant les champs du possible. Ce sont les "briques de base" pour la conception,
- construire des prototypes de systèmes "candidats" en explicitant les principales stratégies, combinant certaines "briques de base" identifiées précédemment, de manière astucieuse pour favoriser la complémentarité et les synergies en optimisant les interactions entre les techniques, les RdD et les processus. Certaines combinaisons peuvent être antagonistes, ce qui nécessite de faire des compromis.

Le Tableau 6 présente des recommandations pour la mise en œuvre des ateliers de conception, avec des "Trucs et astuces".

Un atelier de conception nécessite au minimum une à deux journées de travail, répétées autant de fois que nécessaire. Il est souvent utile de reprendre "à froid" les prototypes conçus afin de les améliorer et cela contribue à faciliter l'appropriation du système de culture à tester par le futur pilote.

Pour aider à l'identification des "briques de base" nécessaires à la conception des prototypes de système, on pourra s'appuyer sur différentes ressources.

Ressources utiles …

• Agro-PEPS/GECO, système de gestion et de partage des connaissances pour appuyer l'exploration des champs du possible
http://www.geco.ecophytopic.fr
http://agropeps.clermont.cemagref.fr/mw/index.php/Cat%C3%A9gorie:Ressources_techniques
• Guide STEPHY-Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économe en produits phytosanitaires. (Attoumani-Ronceux *et al.*, 2011)
http://www.systemes-de-culture-innovants/Nos-Ressources-Productions/Demarches-Outils/Pour-concevoir
http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/GUIDE_STEPHYopt.pdf
• Guide pratique pour la conception de systèmes de culture légumiers économes en produits phytopharmaceutiques. (Launais *et al.*., 2014)
http://agriculture.gouv.fr/guide-pratique-systemes-culture-legumiers-economes-produits-phytopharmaceutiques
http://www.picleg.fr
• Guide CEPVITI - Co-conception de systèmes viticoles économes en produits phytosanitaires (Berthier *et al.*, 2011)
http://agriculture.gouv.fr/ecophyto-guide-cepviti
• Guide Ecophyto Fruits – Guide pour la conception de systèmes de productions fruitières économes en produits phytopharmaceutiques (Laget *et al.*, 2014)
http://www.gis-fruits.org/Actions-du-GIS/Guide-Ecophyto
• Guide pratique de conception de systèmes de culture tropicaux économes en produits phytosanitaires. (Bruchon et *et al.*, 2015)
http://cosaq.cirad.fr/content/download/4225/31677/version/2/file/Guide+tropical+TBD+new.pdf
…

Tableau 7 : Liste de quelques outils de caractérisation et d'évaluation multicritère ex ante des performances de durabilité* pour chacune des filières.

	Outils d'évaluation multicritère
Grandes cultures	Calculateur STEPHY, MASC, DEXi PM, Systerre, PerSyst …
Légumes	DEXi PM FV (légumes en sol) …
Arboriculture	DEXi PM-pomefruit …
Viticulture	DEXi PM vigne …

3. Evaluation *ex ante* et sélection du ou des prototypes prometteurs

Pour évaluer les prototypes de système, il est nécessaire de les décrire sous forme de système pratiqué prévisionnel (Petit *et al.*, 2012). Il s'agit de la synthèse des interventions culturales et des rendements (par exemple, déterminé avec l'outil PerSyst (Guichard *et al.*, 2013), ou encore à dire d'experts), de n parcelles, prévus à l'échelle du système, sur plusieurs années. On distingue les pratiques récurrentes et les variantes sous forme d'amplitudes de variation (ou fréquences ou fourchettes) dans un contexte précis (exemple en Partie 5, tableau 17, page 92).

A partir du système pratiqué prévisionnel, il s'agit de :

- Caractériser *a priori* les résultats et évaluer les performances des systèmes candidats, compte-tenu des objectifs et attentes qui lui ont été assignés,
- Réaliser une évaluation multicritère *a priori* (*ex ante*) des performances de durabilité*.

Ces évaluations sont fortement recommandées. Pour cela, il est possible de mobiliser des experts ou différents outils ou méthodes d'évaluation.

Cette étape nécessite d'une heure (calculateur STEPHY, …) à une journée de travail (Dexi …) environ par prototype.

Parmi les outils disponibles, une liste non exhaustive est présentée en Tableau 7 et développée en Annexe 2 (page 131).

Pour plus d'informations, rendez-vous sur la plateforme ERYTAGE :
http://www.erytage.fr/ au niveau de l'onglet "Choisir un outil".

A partir des résultats de l'évaluation, la sélection du ou des SdC "prometteurs" à tester au champ est réalisée en concertation entre le responsable d'expérimentation, le pilote et le comité de pilotage. Les critères* retenus pour la sélection doivent répondre à des questions du type :

- Les objectifs et attentes définis lors du cadrage (Partie 1 / Diagnostic* et cadrage) et de la conception sont-ils satisfaits ?
- Si oui, les systèmes sont-ils performants sur les autres volets considérés ?

Pour faire un choix, les moyens et les contraintes liés à l'expérimentation ainsi que le dispositif expérimental à construire sont à prendre en compte.

Si les résultats des évaluations ne sont pas satisfaisants, il est nécessaire d'améliorer les prototypes de SdC candidats, de les réévaluer dans une boucle d'amélioration continue… jusqu'à ce que les attentes et objectifs soient satisfaits au mieux (c'est-à-dire au minimum les objectifs prioritaires) (Figure 7, page 40).

Encadré 3 : Formalisme d'une RdD (Henry *et al.*, 2012).

1. **Culture(s) concernée(s)**
2. **Fonction (domaine de pilotage)**
3. **Objet de la décision :** ce sur quoi porte la décision
4. **Domaine de validité de la RdD :** les éléments caractéristiques du SdC pour lesquels la RdD a été validée
   - Contexte : pédoclimatique, pressions biotiques
   - Bornes temporelles : Période sur laquelle une RdD a été validée (saison, avant ou après un stade de développement…)
   - Caractéristiques du SdC : objectifs, enjeux, stratégies, éventuellement succession culturale
   - Techniques et RdD à combiner pour pouvoir mettre en œuvre cette RdD
5. **Domaine d'utilisation de la RdD :** éléments caractéristiques du SdC* pour lesquels la RdD est utilisée (surtout quand le domaine de validité de la RdD ne peut pas être renseigné, ou encore lorsque la RdD est utilisée et diffusée dans des situations extérieures au domaine de validité)
6. **Objectifs de la RdD**
7. **Attentes du pilote et critères d'évaluation de la RdD**
8. **Solution :**
   - Enoncé (exemple : si [critère], alors [option1], sinon, alors [option2]) ; les options sont donc les différentes sorties possibles de la RdD : modalité d'un acte technique, absence d'intervention…
   - Critères de décision (éléments qui vont guider le choix d'une option avec le type d'observation, l'utilisation d'outil… nécessaires à la prise de décision et le coût d'acquisition de l'information le cas échéant.
   - Fréquence d'itération des différentes options et effets attendus (sur l'état de la culture, et sur les futures techniques qui pourraient être mobilisées). La fréquence d'itération des différentes options est la fréquence à laquelle chacune des options (modalité d'une intervention, absence d'intervention…) sera mise en œuvre suite à l'application de la règle de décision*. Cette information est recueillie, lorsqu'elle est disponible. Les effets attendus peuvent être positifs ou négatifs.
9. **Sources et références**

Tableau 8 : Formalisme en tableau du système décisionnel de maîtrise de l'alimentation azotée du SdC Grandes cultures biologique de Kerguéhennec DEPHY EXPE Systèmes "Grandes Cultures" économes en intrants (de l'intégré au biologique) en Bretagne (Chambres d'agriculture de Bretagne, 56).

Objectifs	Mode d'action	Attentes du pilote	Solutions soumises à des RdD
Assurer une alimentation en N suffisante pour l'ensemble des cultures	Réaliser un apport organique exogène	Reliquats azotés après récolte < 60 uN après le maïs et < 50 uN après les autres cultures.	Apport systématique (routine) de 5-6 t de compost de fumier de volailles avant maïs
	Jouer sur l'efficience de la minéralisation	Reliquats azotés après récolte < 60 uN après le maïs et < 50 uN après les autres cultures.	Broyage et déchaumage des résidus de féverole dès que le sol est portant
	Utiliser la fixation symbiotique	Reliquats azotés sortie hiver > 60 uN dans le triticale après la féverole de printemps	Introduction d'une féverole de printemps en tête de rotation (routine)

4. Description du ou des prototypes prometteurs à tester en expérimentation système

Pour chaque prototype "prometteur", il faut décrire le système décisionnel.

Le système décisionnel est le mode d'emploi pour piloter le système. Il traduit la logique avec laquelle les décisions sont prises pour atteindre les objectifs visés et est décrit par l'ensemble des stratégies du système de culture. Chaque stratégie est, elle-même, décrite comme un ensemble cohérent comprenant une fonction (ou un rôle) et la ou les solutions qui la servent.

Un système de culture remplit plusieurs fonctions : des fonctions de production *(maîtrise de la levée, alimentation en azote, maîtrise de la verse…)* et des fonctions de service *(alimentation des abeilles, qualité des ressources en eau-nitrates, pesticides…)*. Une fonction est décomposée en "objectifs" et "attentes" du responsable de l'expérimentation et/ou du pilote (Figures 9, 10, 11 et 15).

Le système décisionnel est représenté par fonction sous forme de schéma synoptique (appelé schéma décisionnel Figures 9, 10, 11 et 15) ou encore sous forme littéraire dans un tableau (Tableau 8).

Pour aider à définir les fonctions remplies par le système, voici quelques questions que l'on peut se poser : « Quelles sont les grandes fonctions que le SdC prometteur doit remplir ? », « Quelles sont mes attentes vis-à-vis de ces fonctions ? ».

Pour servir chaque fonction, le pilote mobilise un ensemble de solutions sous forme de règles de décision. Une règle de décision est le lien logique entre des objectifs et les actions à mettre en œuvre dans chacune des situations que l'on peut rencontrer dans un contexte donné (Henry *et al.*, 2012).

Il existe 2 types de règles :

- stratégiques (ou méta-règles*)
- opérationnelles

Une méta-règle ou règle de décision stratégique est une règle permettant d'organiser et gérer un ensemble de règles opérationnelles. Un exemple de méta-règle est "utilisation préférentielle du désherbage mécanique dans le système" et se décline en plusieurs règles opérationnelles par culture, outil, période…

Une règle de décision opérationnelle est formalisée comme proposé dans l'encadré 3 ci-contre. Un exemple complété avec une règle de décision opérationnelle est disponible dans la Partie 3 / Construction (page 74).

Pour aider à définir les solutions, voici quelques questions que l'on peut se poser :
« Quels sont les éléments du SdC qui jouent sur cette fonction ? » « Comment les solutions sont-elles organisées ? ».

Figure 10 : Schéma décisionnel de maîtrise de l'alimentation azotée du SdC Grandes cultures biologique de Kerguéhennec (Chambres d'Agriculture de Bretagne, 56).

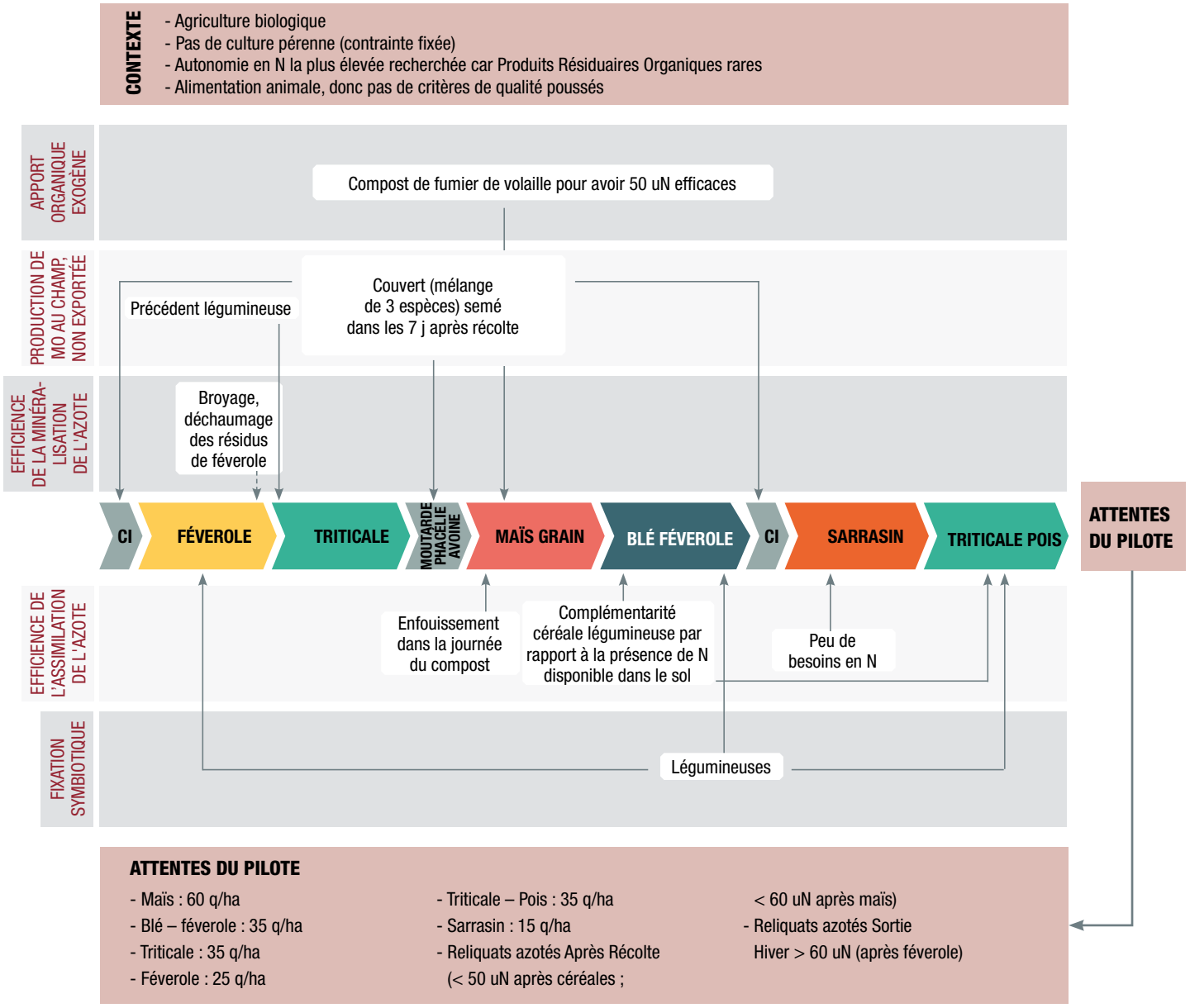
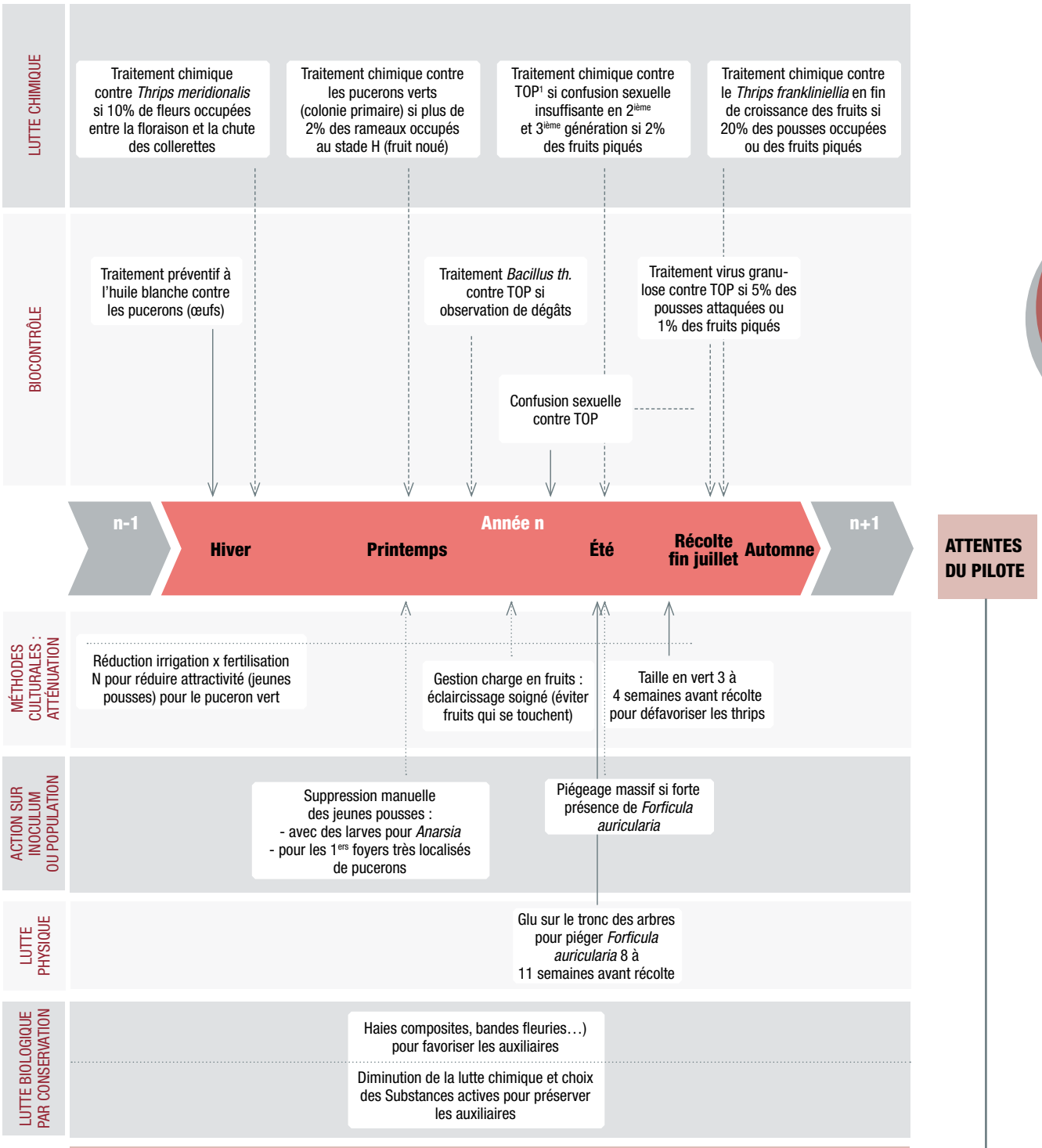


Figure 11 : Schéma décisionnel de maîtrise des ravageurs du système pêcher « Econome 1 ", DEPHY EXPE Ecopêche (Inra Avignon, 84) (Plénet et Simon, 2015)

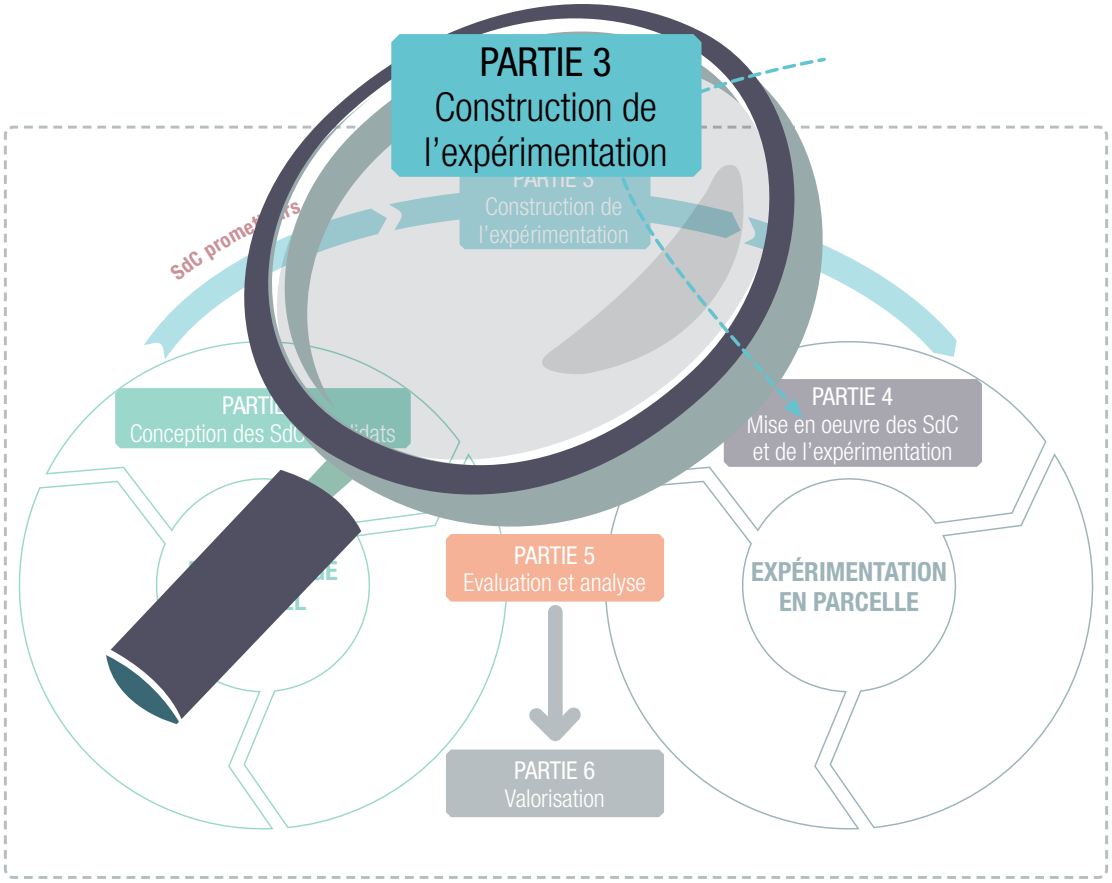


1 TOP : tordeuse orientale du pêcher

Figure 12 : Etape 3 de construction de l'expérimentation système (adapté de la méthodologie du RMT SdCi, Deytieux *et al.*, 2012).

Ce qu'il faut produire...

- présentation du dispositif
- schémas décisionnels
- protocoles
- fiches pour les notations et suivis
- fichiers pour la gestion des données
- planning prévisionnel global





Vue aérienne du dispositif de l'expérimentation "système" mis en place sur le domaine expérimental d'Epoisses - Protection intégrée contre les adventices des champs cultivés (Inra Dijon, 21).

Le dispositif comprend 5 prototypes de SdC prometteurs (ayant des objectifs et des contraintes différents), dont un SdC de référence. Chaque système est présent sur 2 îlots de parcelles (A et D) aux caractéristiques proches (la texture du sol est un peu plus argileuse dans un îlot que dans l'autre, avec un décalage d'un an dans les successions culturales entre les 2 îlots). Chaque parcelle (encadrée en blanc sur la photographie) accueillant un SdC fait environ 2 ha.

PARTIE 3
Construction de l'expérimentation

L'objectif de cette troisième étape est de construire un dispositif qui permette de tester en conditions réelles le ou les prototypes*[1] de systèmes de culture (SdC) et d'acquérir les données qui permettront de l'évaluer et de l'analyser comme proposé en Partie 5. Cette étape peut nécessiter un aller-retour avec la Partie 1 / Diagnostic* et cadrage pour ajuster les objectifs* fixés aux moyens à disposition (humains, financiers, matériels…).

Ce qu'il faut produire à cette étape

- **présentation du dispositif**
- **schémas décisionnels* avec les corpus de règles de décisions* (RdD) qui explicitent la façon dont est piloté le système**
- **protocoles d'observations, de mesures et d'enregistrements, précis et fiables**
- **fiches pour les notations et les suivis correspondants**
- **fichiers pour la gestion des données collectées lors de l'expérimentation**
- **planning prévisionnel global répertoriant les différentes actions à réaliser durant l'expérimentation (interventions, mesures, observations, enregistrements), ainsi que les personnes qui en sont responsables.**

1 Les mots signalés d'un * sont définis dans le glossaire, à la fin du guide.

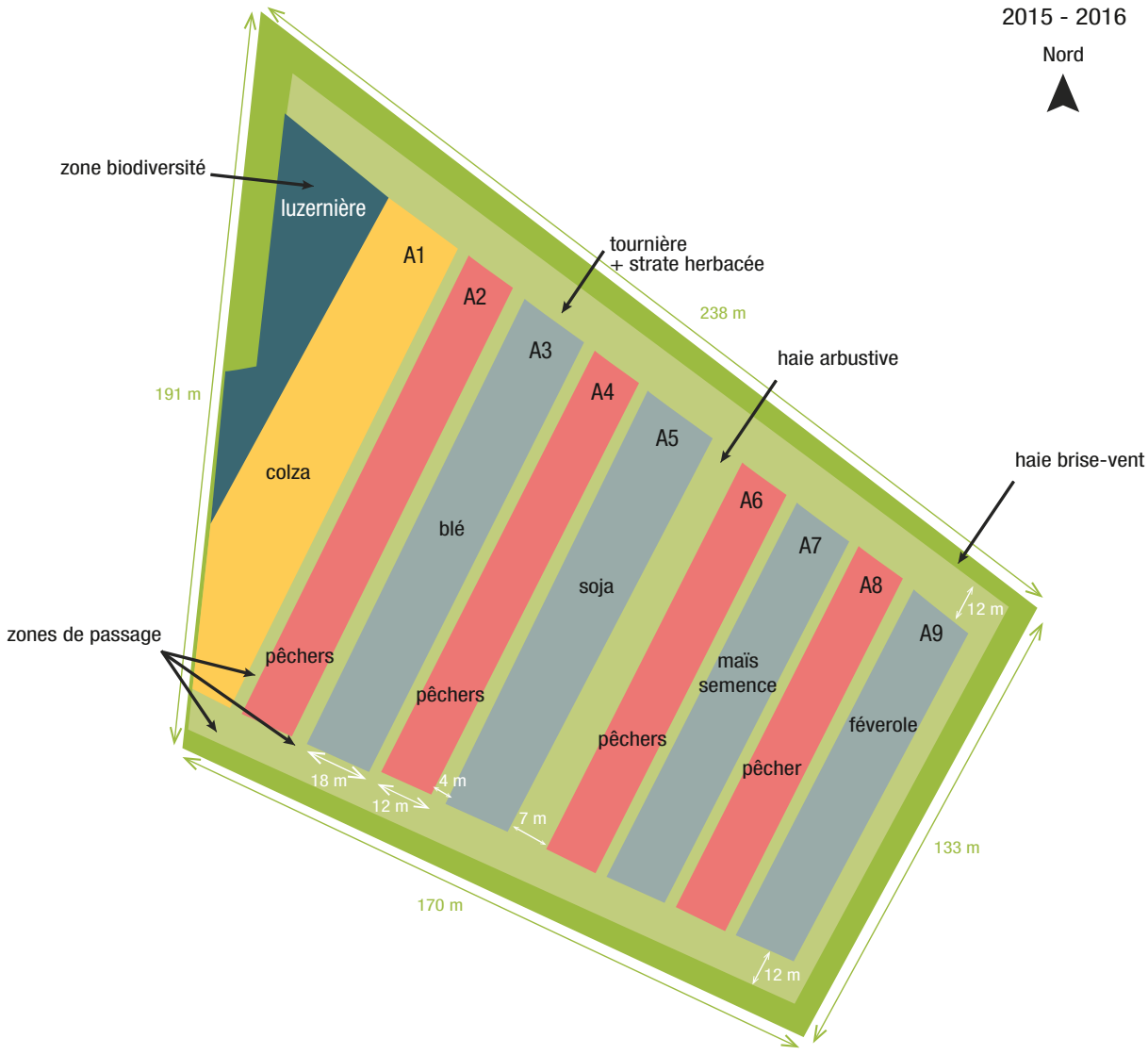
Trucs et astuces

Un plan du dispositif expérimental (Figure 13) est un plus pour la pédagogie et la communication.

Figure 13 : Plan du dispositif de l'expérimentation système* VERTICAL (verger et cultures assolées) mis en place sur la plate-forme TAB[1] - DEPHY EXPE Vertical Innover et diversifier pour des systèmes de culture plus performants et plus autonomes (Chambre d'agriculture de la Drôme, 26).

Il s'agit d'un système agroforestier d'arbres fruitiers et de grandes cultures. Les parcelles élémentaires font de 2 000 à 2 600 m^2. 34 % de la parcelle sont occupées par les pêchers, 43% par les cultures assolées et 23 % par des zones non productives aménagées. Chaque terme de la rotation est présent chaque année. Pour le verger, une parcelle témoin de pêchers a été mise en place à proximité (hors plan), afin de faciliter l'interprétation des résultats* obtenus dans le système. Pour les cultures assolées, il n'y a pas de SdC de référence* testé.

Pour en savoir plus : http://rhone-alpes.synagri.com/portail/parlons-plate-forme-tab



1 Techniques alternatives et biologiques

1. Dispositif expérimental

La construction du dispositif expérimental doit prendre en compte les objectifs de l'expérimentation, la précision des évaluations* et le type d'analyses souhaitées, la prise de risque associée aux systèmes testés, le domaine de validité attendu, les moyens et contraintes liés à l'expérimentation.

Pour cela, il faut renseigner :

- le nombre de sites,
- les caractéristiques principales de ces sites (quel(s) lieu(x) ? quelle(s) particularité(s) associée(s) au site ?),
- le nombre, la taille et les caractéristiques des parcelles élémentaires (hétérogénéité du sol, pente, environnement paysager...),
- le nombre de SdC expérimentés, dont le cas échéant le SdC de référence*,
- le nombre et le type de répétitions,
- l'échelle temporelle de travail.

A cette étape, il est conseillé d'impliquer la ou les personnes en charge des évaluations des systèmes de culture afin de s'assurer que les choix réalisés sont cohérents avec les objectifs expérimentaux (Schillinger, 2010).

a. Nombre de sites

Une expérimentation système peut tester un ou plusieurs prototypes de système de culture* et être conduite en mono-site ou en réseau. Les intérêts de chaque combinaison sont présentés dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Intérêts des combinaisons entre nombres de prototypes et de sites (d'après Loyce *et al.*, 2008)

	Un prototype	**Plusieurs prototypes**
Mono-site	- Test d'un SdC adapté spécifiquement à un contexte - Concentration des moyens sur un site	- Test de différents SdC dans le même contexte - Comparaison possible de SdC
Réseau	- Test de la robustesse du SdC dans différentes situations de production - Conception du dispositif, du système et analyse des résultats partagées - Mutualisation possible des moyens et compétences	- Exploration d'une plus large gamme de SdC dans différentes situations de production - Conception du dispositif, des systèmes et analyse des résultats partagées - Mutualisation possible des moyens et compétences

Tableau 10 : Eléments pour choisir le type de sites de l'expérimentation (adapté de Deytieux *et al.*, 2012 ; Debaeke *et al.*, 2008, Drinkwater, 2002, Schillinger, 2010).w

	Station expérimentale	Parcelles en exploitation (Agriculteur/Lycée)
Choix à privilégier pour	Le test de SdC comportant *a priori* une forte prise de risque ou en rupture par rapport aux pratiques actuelles.	Le test de SdC comportant une prise de risque *a priori* plus modérée par rapport aux pratiques actuelles et ne menaçant pas la pérennité de l'exploitation.
	Le test de plusieurs SdC au même endroit.	La mise en œuvre pratique en conditions réelles de production.
	L'intégration de répétitions.	L'évaluation des performances* du SdC en situations de production réelles.
	La mise en place d'un SdC de référence inclus dans le dispositif.	L'utilisation possible d'un système de référence conduit en parallèle par le même pilote*.
	La mise en place d'essais factoriels complémentaires dans le dispositif.	
	Une instrumentation de suivi sur le long terme (case lysimétrique, suivi de gaz à effets de serre …).	
Avantages	Capacité plus importante à réaliser des suivis, mesures, observations et enregistrements (type de dispositif de mesure, moyens de réalisation...).	Collaboration avec le producteur tout en bénéficiant de son savoir-faire de pilote.
		Utilisation comme support pédagogique sur les exploitations des lycées.
	Facilité à respecter les exigences du protocole.	Support de démonstration plus convaincant en terme de faisabilité pour des " visiteurs" (producteurs …).
	Capacité à mettre en œuvre le SdC (matériel spécifique, main d'œuvre, OAD*, …).	
Inconvénients	Taille des parcelles souvent plus petite qu'en situation de production* réelle.	Capacité moins développée à réaliser des suivis, mesures, observations et enregistrements. Réalisation des observations et mesures conformément aux exigences du protocole (régularité, fiabilité…) parfois délicates.
	Situation moins adaptée pour discuter de l'extrapolation des résultats et la faisabilité dans des exploitations agricoles auprès d'agriculteurs et de conseillers	Risque de mimétisme voire de convergence entre SdC, si plusieurs SdC sont testés chez un même producteur.
	Données technico-économiques fiables et extrapolables délicates à obtenir.	Ecarts au système décisionnel parfois constatés (introduction et ou modification des RdD et techniques*)

b. Site de l'expérimentation

Une expérimentation système peut avoir lieu chez un agriculteur, au sein de l'exploitation d'un lycée agricole ou dans une station expérimentale. Les différences principales induites par le type de site sont les suivantes (Tableau 10) :

- le niveau de maîtrise de l'ensemble du protocole par l'expérimentateur (aussi bien le pilotage du système de culture, que la mise en œuvre des mesures et observations),
- le degré de prise de risque possible.

Les complémentarités entre les différents types de sites peuvent permettre de :

- favoriser l'inspiration, l'adoption, l'adaptation des systèmes de culture testés auprès d'un public plus large d'agriculteurs (Debaeke *et al.*, 2008), en présentant un éventail de niveaux de rupture,
- mieux comprendre et analyser les processus biologiques en jeu par l'instrumentation en station et mieux appréhender la faisabilité technique* en exploitations agricoles.

c. Choix de la parcelle expérimentale

Le choix de la parcelle ou des parcelles qui accueilleront l'expérimentation système est issu d'un compromis qui doit tenir compte des cinq critères* suivants :

- l'adéquation de la parcelle au cadrage réalisé (incluant le contexte),
- la taille de la parcelle nécessaire à l'expérimentation,
- l'homogénéité des sols de la parcelle,
- son environnement et les aménagements disponibles,
- l'éloignement de la parcelle par rapport au lieu de travail principal des expérimentateurs.

La parcelle choisie doit être pertinente avec le cadrage réalisé dans les Parties 1 / Diagnostic et cadrage et Partie 2 / Conception. Ceci conditionne la capacité à atteindre les objectifs fixés (caractéristiques pédologiques, certification Agriculture Biologique…). En effet, en fonction du potentiel agronomique de la parcelle, les objectifs et résultats attendus peuvent être ajustés : par exemple, les objectifs de rendement. Il est également possible d'ajuster les caractéristiques de la parcelle : par exemple, si on s'intéresse à la gestion des adventices, il faut s'assurer de la présence des espèces à maîtriser ; le cas échéant, il peut être envisagé d'en semer.

La connaissance de l'historique (précédents culturaux, pratiques, état sanitaire…) de la parcelle est utile pour l'interprétation des résultats, en particulier les premières années de l'expérimentation. Pour limiter l'effet de l'historique, une culture d'homogénéisation peut être prévue en préalable à la mise en place de l'expérimentation. En l'absence de celle-ci, la première année d'une expérimentation système ne doit pas nécessairement être prise en compte dans les évaluations et analyses.

La caractérisation de l'état initial permet de connaître l'hétérogénéité de la parcelle pour positionner le dispositif et connaitre l'état initial des variables dont on souhaite vérifier l'hypothèse de variation sous l'effet du SdC testé.

La taille et la forme de la parcelle doivent permettre de mettre en œuvre les leviers (irrigation…), d'apprécier leur efficacité et de permettre le calcul des indicateurs* pour l'évaluation et l'extrapolation. Par exemple, l'étude de l'effet d'un SdC sur la capacité de dissémination de certains bioagresseurs aériens nécessite de préférence de grandes parcelles. De même, le calcul des temps de travaux sera d'autant plus fiable que la parcelle sera grande et de forme régulière.

L'homogénéité des sols de la parcelle est à rechercher. S'il y a hétérogénéité, il faut la caractériser (texture, pH, cailloux, profondeur de sol, vigueur pour les plantes pérennes…) pour la prendre en compte dans l'implantation de l'expérimentation et relativiser les résultats. Si l'on teste plusieurs systèmes de culture et que l'on observe un gradient d'hétérogénéité de types de sol par exemple, on peut faire en sorte que tous les types de sol soient représentés dans chaque système de culture et l'analyser en conséquence. *A fortiori*, si le sol est très hétérogène, il faut considérer plusieurs systèmes dans l'analyse.

L'environnement et les aménagements disponibles sont à prendre en compte pour mettre en œuvre les leviers et pour interpréter les résultats. Par exemple, la proximité d'un bois ou de haies sera à prendre en compte si l'on est sur une problématique "ravageurs et maladies", de même que la présence de matériel d'irrigation si une culture d'intérêt est irriguée.

La distance de la parcelle au lieu de travail principal des expérimentateurs doit permettre un suivi régulier, le pilotage et la mise en œuvre du système décisionnel.

Pour décrire les caractéristiques parcellaires, un exemple de fiche est disponible en Annexe 3 (page133).

Tableau 11 : Avantages et inconvénients de différents types de systèmes de culture de référence retenus (d'après Deytieux *et al.*, 2012, Michel D., 2010).

Type de SdC de référence	Avantages	Inconvénients	Virtuel /Réel	Inclus / Exclu du dispositif
SdC historique de la parcelle	- Adapté pour évaluer des systèmes de culture dont l'objectif est d'améliorer les performances par rapport à une situation initiale. - Prise en compte des variations pluriannuelles et les évolutions techniques (s'il est réactualisé).	- Différences entre les périodes climatiques et les pressions biotiques de l'historique par rapport à celles du système testé. - Fiabilité dépendante de la qualité des enregistrements effectués antérieurement.	Réel	Exclu
SdC à dires d'experts (le cas échéant assistés par modèle(s))	- Représentatif des pratiques des agriculteurs d'un territoire ; synthèse de ce qui est pratiqué. - Rapide à générer.	- Prise de recul délicate dans la conception (écarts entre la réalité des systèmes de culture réellement pratiqués et la représentation que les acteurs locaux en ont) : risque de biais liés à l'expertise. - Intégration partielle des fluctuations dues aux aléas (système "moyen"). - Ecart à la pratique locale sur un pas de temps long sauf s'il est réajusté au fur et à mesure.	Virtuel	Exclu
SdC d'un producteur	- Limitation du travail à réaliser (pas d'étape de conception, conduite par un producteur…). - Facilitation de l'interprétation des résultats : contexte similaire au systèmes de culture testé (climat, sol, pressions pour certains bioagresseurs …). - Prise en compte des variations pluriannuelles et les évolutions techniques.	- Influence de l'expérimentation sur les pratiques du producteur (appropriation de l'innovation*), s'il est intégré aux discussions. - Pas forcément représentatif des pratiques locales. - Nécessité d'un minimum de collecte de données pour pouvoir comparer les résultats entre les systèmes de culture. - Possibilités de contraintes pour le producteur (notations prévues à un moment qui ne l'arrange pas…), nécessité d'une bonne communication.	Réel	Exclu[1]
SdC conduit par le pilote	- Facilitation de l'interprétation des résultats : contexte similaire au système de culture testé (climat, pressions pour certains bioagresseurs …). - Maîtrise du système de culture de référence grâce à sa formalisation. - Facilitation de l'acquisition de données de qualité.	- Pas forcément représentatif des pratiques locales. - Dispositif lourd à gérer (temps de collecte des données, de mise en œuvre…) et possibilités de conflit de surface (compromis entre nombre de systèmes de culture testés, nombre de répétitions et taille des parcelles élémentaires). - Sensibilités aux aléas locaux par rapport à des références plus générales (moyennes régionales…). - Risque de biais expérimental : influence réciproque entre le système de référence et le système innovant*.	Réel	Inclus

1 Lorsque le "SdC d'un producteur" est inclus au dispositif, on peut considérer que le SdC de référence alors produit appartient à la catégorie "SdC conduit par le pilote".

d. Choix d'un système de culture de référence

Un **système de culture de référence** sert à définir et quantifier les objectifs des systèmes prometteurs conduits en parallèle, mais aussi à analyser l'effet de la variabilité annuelle sur le fonctionnement de l'agroécosystème (Deytieux *et al.*, 2012). Il est également utile pour communiquer auprès de différents publics.

Il permet de partager une vision commune avec l'ensemble des acteurs (chercheurs, conseillers, producteurs, destinataires...) intervenant sur l'expérimentation. Fréquemment, le système de référence est choisi de manière à reproduire les pratiques locales dominantes.

Cependant, ce système de culture de référence n'est pas toujours indispensable, car le système de culture testé peut également être évalué dans l'absolu ou relativement à des valeurs de référence non issues de systèmes de référence, ou encore par rapport aux objectifs de conception.

Le système de culture de référence doit être décrit comme le système testé de la Partie 2 / Conception, avec ses objectifs, ses attentes*, ainsi que son système décisionnel.

Ce système de référence offre des avantages, à savoir (tableau 11) :

- lorsqu'il est inclus au dispositif parallèlement au(x) système(s) testé(s), il peut être très utile pour aider à analyser les états de l'agroécosystème (*Cet état est-il dû à mon système ou à un autre effet ?*), pour faire un diagnostic agronomique* par exemple,
- il permet de relativiser les performances du système de culture testé sur d'autres critères que ceux utilisés pour vérifier l'atteinte des objectifs et des attentes,
- il facilite la compréhension et l'interprétation des indicateurs peu familiers (comme l'émission de GES par exemple, pour lesquels des valeurs de référence ne sont pas forcément disponibles) grâce à une comparaison avec les performances d'un système de culture connu.

Il est délicat à choisir du fait de la grande variabilité des pratiques des agriculteurs, même localement. Si les objectifs visés sont définis par rapport au système de référence, ses résultats et performances peuvent orienter fortement les résultats et l'évaluation des systèmes de culture testés.

Il est possible d'utiliser d'autres valeurs de référence si elles apparaissent plus pertinentes (enquêtes de pratiques de producteurs, état initial de la parcelle, références régionales ou locales, réglementation, norme, cahier des charges, modèles…).

Encadré 4 : Parole d'expérimentateur "Pourquoi un SdC de référence" ?

« Au départ, l'intégration d'un système de culture de référence au dispositif n'avait pas été prévue car nous pensions nous appuyer sur les références régionales. Dès la première année de mise en place, la question s'est posée car l'usage de références extérieures ne permettait pas une assez bonne mise en relief des résultats et performances du système. Les références régionales n'existent que pour très peu d'indicateurs, il a donc été décidé de rajouter un système de référence au dispositif. Il a été conçu pour être représentatif des systèmes de culture bretons et aussi pour être adapté au contexte du site. Il est mis en place à côté du système testé, afin d'être dans les mêmes conditions. »

Témoignage de Patrice Cotinet, pilote de l'expérimentation système "Intégré" de Kerguéhennec (Chambres régionale d'agriculture de Bretagne, 56).

Une aide au choix pour les types de référence utilisables en expérimentation système est disponible en Annexe 5 (page 137) (Deytieux, 2017), en complément du Tableau 11 (page 64).

Un système de culture de référence peut :

- être inclus ou pas au dispositif expérimental (Encadré 4),
- être mis en œuvre (ou avoir été mis en œuvre) réellement sur le terrain ou être virtuel (Tableau 11 page 64).

Le système de référence doit être défini en expliquant bien la méthode de conception choisie, ainsi que les sources d'informations (contexte…) utilisées.

Le choix d'un SdC de référence doit se faire en fonction :

- des besoins exprimés et des objectifs poursuivis par les expérimentateurs,
- des moyens mis à disposition (temporels, humains, financiers, parcellaires …),
- des données de référence disponibles,
- de la diffusion souhaitée des résultats.

Dans certaines situations, il est possible de le réactualiser à dire d'experts pour prendre en compte les évolutions des techniques (par exemple retrait de matières actives, évolution de la réglementation...) et du contexte.

Différents systèmes de référence existent. Quatre types ont été retenus ici (Tableau 11, page 64) :

- système de culture historique,
- système de culture à dires d'experts,
- système de culture pratiqué par un producteur en dehors du dispositif,
- système de culture conduit par le pilote.

Le système historique est un système conduit avant la mise en place de l'expérimentation sur la ou les parcelles du dispositif ou des parcelles équivalentes. Il peut contribuer à un diagnostic permettant d'identifier les enjeux* de l'expérimentation et du SdC testé. Il est défini par enquête auprès de l'agriculteur, en mobilisant les enregistrements d'itinéraires techniques (ITK) pratiqués sur plusieurs années.

Le système à dire d'experts est conçu par les acteurs locaux (conseillers, agriculteurs, chercheurs...) sur la base de leurs connaissances des pratiques actuelles dominantes dans la région, intégrant des observations et références régionales (observatoire de pratiques, enquêtes, bilan de campagne, faits marquants…). Il peut être réalisé dans le cadre d'un atelier de conception, comme ceux décrits en Partie 2 / Conception.

Le système mis en œuvre par un producteur en dehors du dispositif est un système conduit dans une exploitation proche du site de l'expérimentation ou dans la même exploitation. Le système décisionnel n'a pas été conçu par les expérimentateurs, mais est à formaliser. Dans les dispositifs en exploitation, le risque de convergence entre les systèmes testés et de référence est réel, ce qui peut induire des biais dans la conduite du système, dans son évaluation et son analyse.

Le système conduit par le pilote en parallèle est un système basé sur les pratiques du "producteur" ou conçu à dires d'experts. Il est intégré dans le dispositif expérimental et doit être décrit avec la même précision que les prototypes testés.

Figure 14 : Exemple de dispositifs expérimentaux permettant de tester 3 systèmes de culture en intégrant différents types de répétitions (spatiales et/ou temporelles) (d'après Lechenet *et al.*, 2015).

Les cinq dispositifs sont présentés pour une année donnée. Ils ont la même surface totale (hors allées), seule la taille des parcelles élémentaires est affectée par les choix de répétitions. La randomisation des parcelles consiste à distribuer les parcelles élémentaires aléatoirement selon une orientation d'hétérogénéité spatiale constatée sur la parcelle ; elle permet de quantifier la variabilité existant entre les parcelles élémentaires d'un même traitement due à cette hétérogénéité. L'utilisation de la randomisation n'est illustrée sur la figure que pour le cas de la combinaison de répétitions spatiales et temporelles, mais elle est pertinente dans tous les cas de figures pour intégrer une hétérogénéité spatiale du dispositif (avec répétitions spatiales et/ou temporelles). La légende indique le détail de la succession culturale (IC : Interculture). Dans l'article d'origine traitant d'expérimentation en grandes cultures, C1 : Colza, C2 : Blé tendre d'hiver, C3 : Orge d'hiver, C4 : Triticale, , C5 : Pois de printemps, C6 : Maïs.

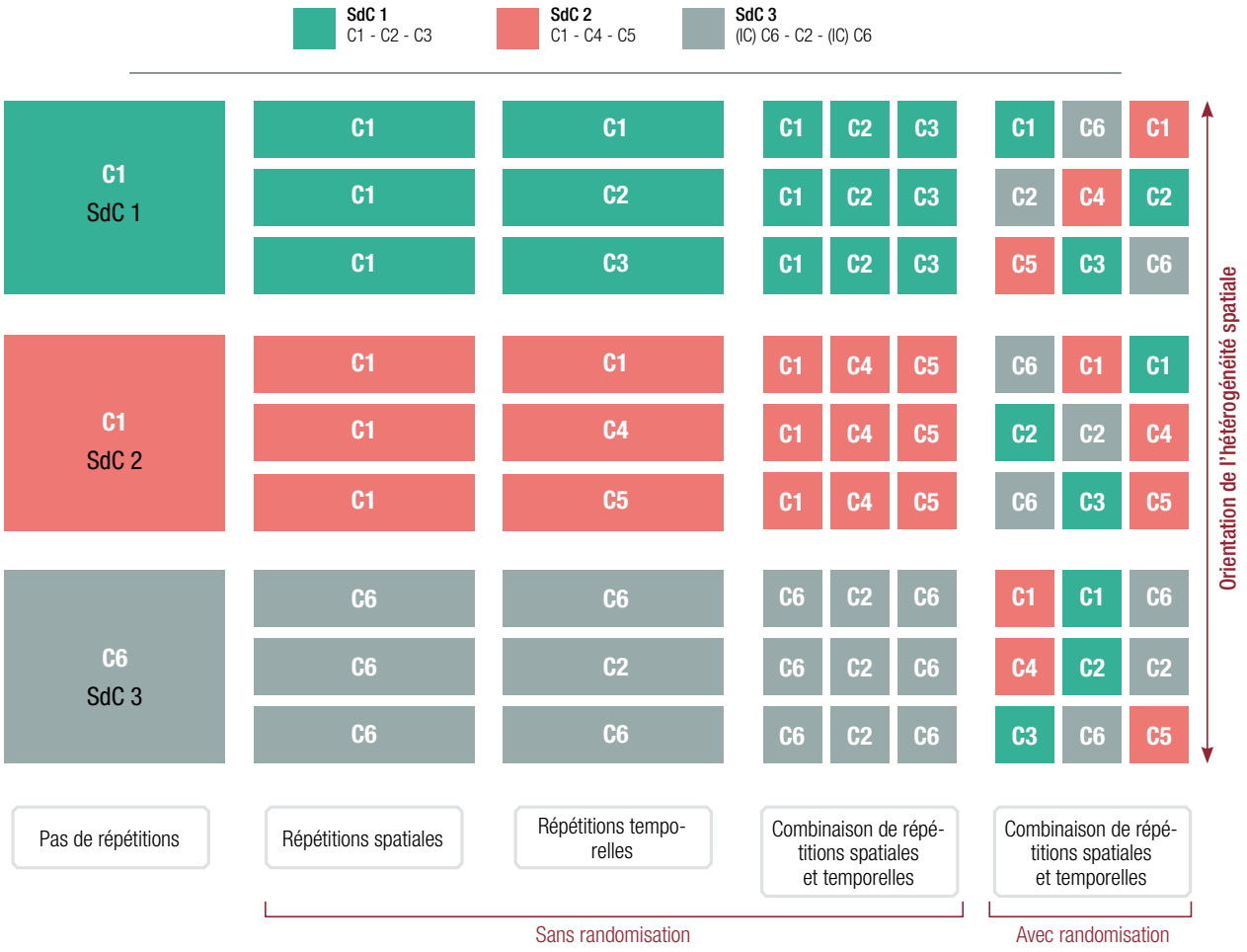


Tableau 12 : Prise en compte de différents effets selon les types de répétitions.

Possibilités de disposition des répétitions	Répétition spatiale	Répétition temporelle
Dans des conditions identiques avec un pilote identique	Pas d'effet *a priori*, sauf si influence d'un système sur un autre (dans ce cas, randomisation nécessaire)	L'effet climatique (intérêt pour évaluer l'effet des stress biotiques, abiotiques) est considéré
Sur des parcelles proches et avec pilote identique	L'environnement proche des parcelles, les effets cumulatifs, les effets pédologiques, les bioagresseurs telluriques ou à faible dispersion… sont considérés	
En réseau et pilotes différents	L'effet site, en permettant de comparer la manière dont est mis en œuvre un système décisionnel (via le SdC pratiqué par exemple) dans différentes conditions est considéré. Un réseau peut offrir une variabilité spatiale beaucoup plus étendue qu'un site unique (sols, paysages, contexte socio-économique…), qui est utile si l'on cherche à déterminer des conditions de réussite (domaine de validité) à un système de culture.	L'effet climatique, l'effet pédologique (si les caractéristiques pédologiques sont différentes) sont considérés.

e. Répétitions du système de culture testé

Il s'agit bien ici des répétitions de systèmes de culture, et non des répétitions d'observations, mesures et enregistrements réalisés au cours de l'expérimentation.

Les répétitions des systèmes de culture ne sont pas obligatoires.

Une expérimentation système peut être réalisée sur une seule parcelle accueillant une seule culture chaque année. Ce type de dispositif, généralement mis en place en exploitation, peut répondre à des objectifs spécifiques tels que tester des systèmes en rupture, construire des systèmes pas-à-pas, faire la preuve du concept, acquérir des données de référence, réaliser des démonstrations…

Le choix des types de répétition doit se faire en fonction des besoins exprimés et des objectifs poursuivis par les expérimentateurs, ainsi que des moyens mis à disposition (temporels, humains, financiers, parcellaires avec en particulier la taille des parcelles).

Il existe **plusieurs types de répétitions, dans le temps** (décalage dans la succession pour les cultures assolées, décalage de l'implantation pour les pérennes), **et/ou dans l'espace** (Figure 14).

Les répétitions temporelles sont particulièrement intéressantes dans les systèmes avec cultures assolées.

- La mise en réseau correspond à des répétitions spatiales.
- Les deux types de répétitions peuvent être réalisés dans un même dispositif et distribués aléatoirement ou non. La randomisation des systèmes dans un dispositif permet de limiter l'influence des systèmes les uns sur les autres (par exemple, biais lié à l'infestation d'un système par un bioagresseur…).

Les répétitions peuvent être mises en place (Tableau 12) :

- dans les mêmes conditions (répétition stricte). Dans la pratique, cette situation est coûteuse et souvent difficile à obtenir,
- dans des conditions similaires (faible variabilité des conditions pédoclimatiques),
- dans un réseau (conditions pédoclimatiques différentes).

Toutes les cultures de la rotation doivent-elles être présentes chaque année ?

- Avoir toutes les cultures de la succession présentes chaque année permet de mieux appréhender les conséquences de la variabilité climatique et biotique interannuelle sur la faisabilité et la cohérence du corps de RdD ainsi que sur le résultat. Ce sont des répétitions temporelles.
- Pour une évaluation intermédiaire, il est plus confortable d'avoir toutes les cultures de la rotation présentes chaque année (Partie 5 / Evaluation et analyse). Toutefois, ceci ne remplace pas une évaluation finale réalisée sur l'ensemble de la succession culturale.
- Le nombre de parcelles à mobiliser sera plus important : il s'agit de trouver le bon compromis entre taille des parcelles et nombre de répétitions.
- Si l'on choisit d'implanter chaque culture chaque année, il faut fixer la succession culturale à l'avance, ce qui fige ce levier agronomique.



Verger jeune nouvellement implanté.

Un verger jeune n'offre pas les mêmes capacités de production qu'un verger plus âgé et n'est pas tout à fait soumis aux mêmes stratégies de gestion*, notamment en ce qui concerne la fertilisation et la charge en fruit.



Verger adulte.

La mise en œuvre d'une expérimentation système sur un verger déjà en production nécessite 2 ou 3 ans de stabilisation avant de réellement pouvoir prendre en compte les effets du nouveau système testé.

f. Echelle temporelle de travail

L'évaluation d'un système de culture n'a de sens qu'après plusieurs années d'expérimentation. En effet, certaines modifications du milieu liées au système peuvent mettre du temps à être visibles et à se stabiliser. Il est donc important de conduire l'expérimentation système sur du long terme afin de mettre en évidence ces effets cumulatifs.

Pour les cultures assolées, une durée pertinente pour une expérimentation système est *a minima* d'une rotation et si possible d'au moins deux rotations (Debaeke *et al*., 2008 ; Schillinger, 2010).

Pour les cultures pérennes, on distingue le cas où les plantes sont nouvellement implantées (photo verger jeune), et celui où elles sont déjà en place (photo verger adulte).

Par exemple, dans le cas d'une nouvelle vigne, il faudra attendre 3 ans avant de commencer à avoir des résultats pour toutes les variables observées (rendement…) et compter 6 à 7 ans pour que la production soit stabilisée. Pendant cette phase transitoire, les observations et mesures pourront être allégées ou maintenues, selon les objectifs et les moyens.

Pour certaines variables ou la mise en place de certaines techniques, la durée peut être adaptée et plus longue (par exemple, pour la teneur en matière organique (MO), le stock semencier…).

Dans la pratique, compte-tenu des modalités de financement (appel à projet…), il peut être parfois nécessaire de trouver des financements relais pour mener à bien l'expérimentation.

En conclusion, les choix relatifs au dispositif expérimental d'une expérimentation système vont influencer différents paramètres de l'analyse des systèmes testés (Tableau 13).

Tableau 13 : Eléments à définir dans le dispositif expérimental.

	INFLUE SUR →
Nombre de site	- La capacité à tester la robustesse des performances des systèmes de culture.
Site de l'expérimentation	- La prise de risque possible. - Le réalisme de l'expérimentation. - Le transfert des résultats.
Choix de la parcelle expérimentale	- Le réalisme de l'expérimentation. - La capacité à mobiliser certaines techniques ou règles de décision (échelle d'efficacité).
Système de culture de référence	- La définition des attentes du pilote et du responsable de l'expérimentation. - Les possibilités d'évaluation et d'analyse des systèmes de culture. - La manière de communiquer sur l'expérimentation.
Répétitions	- La capacité à prendre en compte, à évaluer et à analyser la variabilité des performances du système de culture testé. - La capacité à prendre en compte des interactions entre systèmes (randomisation).
Echelle temporelle	- La capacité à prendre en compte les "effets cumulatifs". - La capacité à prendre en compte la variabilité interannuelle.

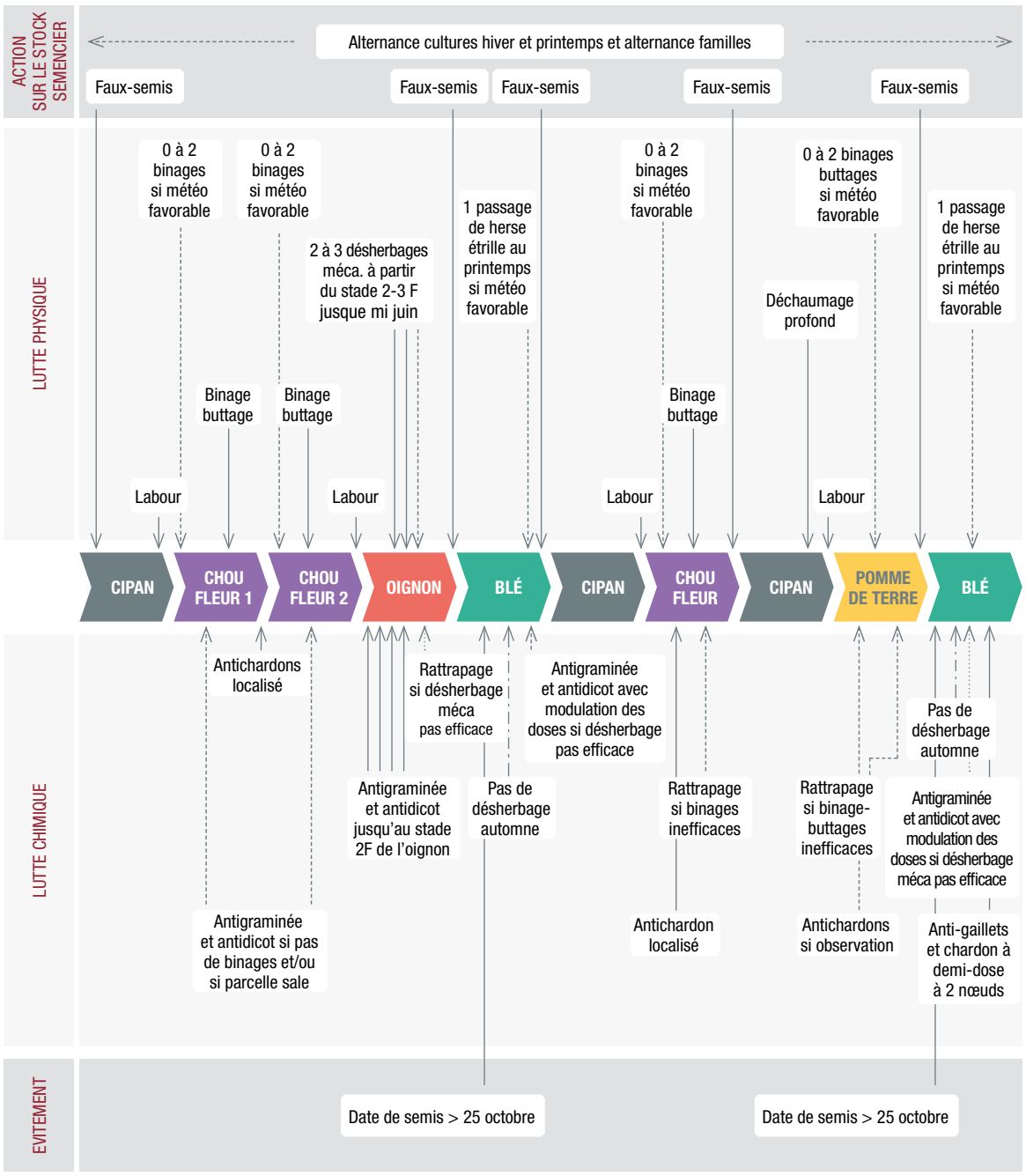
Figure 15 : Schéma décisionnel de maîtrise des adventices du SdC légumier 50 du Pôle Légume Région Nord

DEPHY EXPE Reconception durable de deux systèmes grandes cultures et légumiers pour une réduction d'au moins 50 % de l'utilisation des produits phytosanitaires (Chambre d'agriculture du Nord-Pas-de-Calais, 62).

OBJECTIF : MAÎTRISE DES ADVENTICES

Grands traits de la gestion des adventices

. Labour 2 années sur 3
. Gestion des vivaces à la rotation : utilisation d'un anti-vivace systématique sur blé
. Plantation à un écartement de 70 cm en choux-fleurs et
. Semis à un écartement de 28 cm en oignons pour permettre le binage.



ATTENTES DU RESPONSABLE D'EXPÉRIMENTATION

- IFTh < ou = 50% IFTh du SdC 100
- Accepte baisse de rendement de 15% par rapport SdC 100
- Accepte baisse de marge de 5% par rapport SdC 100

ATTENTES DU PILOTE

- Pas de tâches de chardon
- Pas de recouvrement des buttes ou planches par la renouée liseron (pomme de terre, chou-fleur et oignon)
- Pas de décrochage sur une culture

Trucs et astuces

- Faire une lecture commune des règles de décision avec l'ensemble des intervenants sur l'expérimentation afin que chacun puisse participer à la construction, poser des questions sur les points peu clairs...
- Associer une personne extérieure à l'expérimentation lors de la formalisation des règles de décision pour aider à clarifier le système décisionnel

2. Système décisionnel

A cette étape, le prototype du système à tester est décrit sous forme d'un système décisionnel présenté dans la Partie 2 / Conception du guide. Il faut néanmoins aller un peu plus loin en :

- écrivant un mode d'emploi du système de culture (outil de pilotage) représenté sous forme de schéma(s) décisionnel(s) (Partie 2, Figures 10 et 11 et Partie 3, Figure 15),
- formalisant un corpus de règles de décision de manière à faciliter la mise en œuvre effective du système de culture,
- établissant un planning prévisionnel des interventions culturales, qui ne doit pas remplacer le corpus de règles de décision et les schémas décisionnels qui précisent les conditions de ces interventions.

Au sein du corpus de règles de décision, on distingue :

- des routines, règles de décision conduisant à des interventions réalisées par le pilote par habitude, sans réel diagnostic, se traduisant par des interventions culturales quasi invariables.
- des règles de décision proprement dites, règles permettant d'adapter ses décisions d'intervention au champ en fonction de l'état de la parcelle cultivée (Sebillotte et Soler, 1990a ; Sebillotte et Soler, 1990b ; Meynard *et al.*, 1996).

La création d'un corpus contenant les règles de décision formalisées permet de centraliser, dans un même document, l'ensemble des éléments nécessaires pour décider de l'opportunité d'une intervention culturale ou de la manière d'opérer, indépendamment de la personne qui prend la décision. Les intervenants sur l'expérimentation doivent s'y référer pour le pilotage du système. Il permet de s'assurer que l'ensemble des interventions est bien explicité et compris par tous. Il donne des lignes de conduite à tenir en cas d'imprévus. Il doit aussi être accessible à tous.

a. Réalisation du corpus de règles de décision

Pour chaque système testé, les règles de décision peuvent être ordonnées de différentes manières :

- par culture,
- par type de fonction* : la maîtrise de la fertilité, la maîtrise des ravageurs, la maîtrise de l'alimentation hydrique des cultures…,
- par ordre chronologique, le cas échéant.

Le corpus peut prendre plusieurs formes : texte, tableau, base de données… Il peut être ajusté en cours d'expérimentation si nécessaire (Partie 4 / Mise en œuvre).

Encadré 5 : Exemple d'une RdD formalisée selon le formalisme de Henry et al. (2012) issue des RdD de l'expérimentation Breizleg - DEPHY EXPE (CERAFEL, 29).



Parcelle de chou-fleur infectée par *Mycosphaerella* sur laquelle la chute de feuilles est importante.

1. **Culture(s) concernée(s) : chou-fleur**
2. **Fonction** : Protection des cultures
3. **Objet de la décision** : Gestion du Mycosphaerella
4. **Domaine de validité de la RdD** :
- **Contexte** : breton pour le marché du frais
- **Bornes temporelles** : Valable pour l'ensemble de la campagne culturale pour des récoltes de juin à mai (récoltes d'été, d'hiver et de printemps)
- **Caractéristiques du système de culture** : SdC à base de légumes de plein champ du littoral nord breton
- **Techniques et RdD à combiner** : Choix de la précocité (mois de récolte), choix des variétés, choix du précédent, choix des matières actives
5. **Domaine d'utilisation de la RdD** : Agriculture conventionnelle
6. **Objectif de la RdD** : Gérer le Mycosphaerella pour ne pas pénaliser le calibre récolté et la qualité commerciale en utilisant la lutte chimique seulement si nécessaire.
7. **Attentes du pilote et critères d'évaluation de la RdD** :
Critère d'évaluation : Eviter une nuisibilité directe :
- Par une chute de feuilles prématurée qui pénaliserait le calibre récolté.
Attente du pilote : avoir un % de gros calibre (diam. 16-20 cm) équivalent à celui des SdC intensifs.
- Par des tâches sur les parties commercialisées qui pénaliseraient directement la qualité.
Attente du pilote : 0 tâche sur les parties commercialisées, pas de litige commercial.
Les observations sont réalisées à la récolte.
8. **Solution** :
- Enoncé :
Pour les variétés récoltées entre juin et fin octobre, les conditions météorologiques sont peu propices au développement de la maladie, pas d'intervention.
Pour les variétés récoltées entre fin octobre et fin mai :
- Si la variété choisie est tolérante à la maladie, pas d'intervention.
- Si la variété choisie est moyennement sensible et que le précédant est un chou alors réaliser une seule application de fongicide.
- Si la variété est très sensible, traiter systématiquement en une seule application de fongicide.
Lorsqu'un traitement est nécessaire, celui-ci se fait avec un fongicide à base de triazole, 1 à 4 mois avant la récolte (application en octobre, au minimum 14 jours avant la récolte, pour les variétés récoltées de fin octobre à décembre, en novembre pour les récoltes de janvier et février, entre décembre et janvier pour les récoltes de mars à fin mai).
- **Critères de décision** Date de récolte du chou, niveau de sensibilité au *Mycosphaerella* de la variété choisie, type de précédent cultural, période d'application et choix du produit phytosanitaire.
- **Fréquence d'itération des différentes options et effets attendus** : Raisonnement à réaliser pour chaque variété dans la parcelle culturale. Observation des effets à la récolte.
9. **Sources et références**

Penguilly D., Estorgues V., 2012, Chou-fleur : variétés tolérantes au *Mycosphaerella*, elles s'affranchissent d'un fongicide. Aujourd'hui & demain, n°113, pp.6-8.). Comité d'Action Technique et Economique, Niveau de sensibilité des variétés – Compte-rendu d'essai annuel, St Pol-de-Léon.

Encadré 6 : Parole d'expérimentateur : difficultés à formaliser précisément les règles de décision.

« Il est parfois difficile de tout écrire a priori. Il faut être pragmatique et écrire les principales règles de décision. Toutefois, au fil du temps, il peut être nécessaire de les ajuster, compléter ou encore d'en rajouter. On avance aussi "en marchant".
Par exemple, sur le dispositif PIC Adventices de l'Inra de Dijon – Epoisses, les règles de décision ont été définies a priori, en fonction de l'apparition d'adventices et de leur développement. Toutefois, en 2014, le responsable d'expérimentation, le pilote du système et leur équipe ont été amenés à compléter la règle de décision en cas d'absence d'adventices observée au champ. »

Témoignage de Violaine Deytieux, ingénieur de recherche en charge de l'évaluation des systèmes de culture (Inra, Réseau PIC "Protection intégrée des Cultures")

b. Formalisation des règles de décision

Les règles de décision sont le lien logique entre des objectifs et les actions à mettre en œuvre dans chacune des situations que l'on peut rencontrer dans un contexte. Généralement, le raisonnement suivi par une règle de décision est le suivant (Henry *et al.*, 2012) : **« J'observe "tel(s) état(s)" donc je vais agir de "telle manière" pour obtenir "tel résultat" ».**

Une règle de décision complètement formalisée doit contenir les éléments suivants :

1. **La (ou les) culture(s) concernée(s)**
2. **La fonction**, ensemble de solutions concourant au même résultat (maîtrise de l'alimentation en azote, maîtrise des adventices, alimentation des abeilles …)
3. **L'objet de la décision**, ce sur quoi porte la décision
4. **Le domaine de validité de la règle de décision**
5. **Le domaine d'utilisation de la règle de décision**
6. **L'objectif de la règle de décision** en relation avec les contraintes (« *Pour quoi faire ?* »)
7. **Les attentes du pilote, ainsi que les critères d'évaluation** qui permettent de (i) vérifier si la solution a été applicable et si la fonction a été bien remplie *a posteriori (Appréciation)*, (ii) juger de la validité de la RdD, en vue de décider ou pas de la remettre en cause
8. **La solution** qui regroupe les relations entre les contextes et les actions (« *Comment faire ?* ») souvent succession de **« Si…, alors… ; sinon... »**. L'élément qui suit le "si" est appelé critère de décision : en fonction de ce critère décrivant le contexte, on réalise (ou non) telle action. **Un critère de décision** s'appuie sur un ou plusieurs indicateurs, qualitatifs ou quantitatifs (souvent sous forme de seuil). Ces indicateurs peuvent être issus de mesures, d'observations, de modèles climatiques, d'outil d'aide à la décision* (OAD), d'une grille de risque, ainsi que de l'expertise. Le protocole d'obtention de ces indicateurs doit être suffisamment détaillé pour éviter les ambiguïtés. Dans la pratique, la formalisation de la solution peut être plus ou moins aboutie suivant les objectifs de l'expérimentation et des expérimentateurs. Dans certains cas, la succession de « si…, alors…» n'est pas facile à écrire. Le formalisme est donc adapté en conséquence (Encadrés 5 et 6).
9. **Les sources et références**

   Les sources d'information permettant la construction des règles de décision sont multiples :

   - L'expertise, si l'on manque de résultats expérimentaux et/ou de modèles sur certains sujets, par exemple, si une culture ou une variété est introduite mais n'est pas connue par les différents acteurs.
   - Les résultats expérimentaux. Par exemple, on peut utiliser les résultats d'essais variétaux pour orienter le choix variétal en fonction des situations rencontrées (rupture de stock, plus d'approvisionnement de la variété de départ, contournement de résistances...).
   - La modélisation, par exemple, avec les modèles disponibles sur la plateforme INOKI (Fruits et légumes), l'OAD OPTIDOSE (vigne)…

   La précision, la lisibilité, la facilité de mise en œuvre des règles de décision et de leur évaluation vont déterminer leur bonne application sur les parcelles, ainsi que leur capacité à être transférées vers les destinataires (un exemple de règle et de son évolution au cours du temps est donné en Annexe 6, page 139).

Tableau 14 : Exemples de données à collecter en fonction de leurs utilisations.
Les données à collecter durant l'expérimentation servent pour plusieurs rôles : le pilotage, l'appréciation, l'évaluation et l'analyse.

Données à collecter	Utilisation pour	Exemples d'observations, mesures et enregistrement
- Etat de la parcelle - Pratiques culturales - Environnement/ contexte annuel (Tableau 15)	Piloter	- Suivi des stress biotiques : observation directe, comptage dans pièges à phéromones… - Mesures journalières des températures, hygrométrie… - Etat du sol…
	Apprécier	- Conditions d'intervention lors du semis, réglage du semoir, qualité du travail… - Etat du sol (non compatible avec le passage des machines, sol froid, prestataire indisponible, panne de matériel…).
	Evaluer	- Rendement, doses d'intrants… - Nombre de passages, type de matériel (consommation de carburant) - Nombre de salariés (fixes/saisonniers), nombre d'heures travaillées - Quantité d'azote lixivié - ...
	Analyser	- Densité de levée, suivi des stades phénologiques, suivi des stress (manque d'eau, asphyxie, faim d'azote) - Charge en fruit - Suivi des populations (auxiliaires, bioagresseurs) - Autres éléments nécessaires à un diagnostic agronomique…

Encadré 7 : Des exemples d'observations et de mesures réalisées pour différents rôles ou utilisations.

Cas de la gestion des populations de pucerons sur poivrons en tunnel, dans un contexte méditerranéen :

- Piloter : observer le nombre de pucerons sur la culture pour déclencher un retrait manuel.
- Contrôler : vérifier que le retrait manuel des pucerons a été effectué au bon moment.
- Evaluer : mesurer le rendement en poivron, enregistrer les temps de retrait mécanique des pucerons, les temps de lâcher des auxiliaires… afin de vérifier que les attentes vis-à-vis des rendements et des temps de travaux sont bien atteintes.
- Analyser : réaliser un suivi des populations d'auxiliaires dans le tunnel au cours de la saison pour expliquer la bonne ou la mauvaise régulation des pucerons.

Cas du pourcentage de couverture du sol par les adventices :

- Piloter : observer le pourcentage de couverture du sol par les adventices cibles pour déclencher une intervention.
- Contrôler : observer le pourcentage de couverture du sol après l'intervention.
- Evaluer : vérifier que le pourcentage de couverture du sol par les adventices cibles à la récolte est inférieure ou égale au seuil retenu comme objectif. Evaluer l'efficacité de l'intervention.
- Analyser : détecter la période où l'infestation d'adventices devient non satisfaisante en fonction du développement de la culture, des interventions, de la météo…

3. Elaboration des protocoles d'observations, de mesures et d'enregistrements

a. Rôles des données à collecter pour mener à bien l'expérimentation

Les observations, mesures et enregistrements réalisés tout au long de l'expérimentation servent plusieurs desseins (Tableau 14) :

- Pour le pilotage du système de culture, en permettant de mettre en œuvre les règles de décision,
- Pour l'appréciation de l'efficacité des interventions, de la bonne application des règles de décision et des protocoles expérimentaux, en mettant en évidence les différences entre le prévisionnel et le réalisé (Partie 5 / Evaluation et analyse),
- Pour l'évaluation de la faisabilité technique, des résultats techniques et agronomiques, des performances de durabilité*, en déterminant si les objectifs ont été atteints (Partie 5 / Evaluation et analyse),
- Pour l'analyse des RdD, en contribuant à déterminer les causes de succès et d'échecs, à comprendre le fonctionnement du SdC et expliquer les résultats techniques et agronomiques obtenus, en distinguant les effets attribuables au SdC et ceux indépendants du SdC (climat…), souvent à l'aide d'un diagnostic agronomique (Partie 5 / Evaluation et analyse).

Certaines données peuvent avoir plusieurs rôles (Encadré 7 ; Annexe 4, page 135).

Tableau 15 : Exemples de données à collecter dans une expérimentation système.

Données à collecter	Type d'information	Exemples
Pratiques culturales	**Décisions prises sur les parcelles**	- Règles de décision appliquées, règles de décision non appliquées, décision prise en cas d'imprévu…
	Interventions réalisées	- Type de matériel, intrants, doses, réglages des machines, temps de passage si besoin, opérateur le cas échéant, dates…
	Conditions d'interventions	- Etat du sol (aspect, humidité…), conditions climatiques, stade du peuplement végétal lors de l'intervention …
	Qualité de l'intervention	- Utilité de l'intervention, efficacité de l'intervention, satisfaction du pilote (réussites, difficultés rencontrées …)…
Etat de la parcelle	**Etat du sol**	- Analyses physiques, chimiques, biologiques, état de surface…
	Etat des cultures	- Stade phénologique, densité de peuplement, vigueur, biomasse floraison/récolte, teneur en N, composantes de rendements, rendements, taux de protéines, taux de mycotoxines…
	Suivi des adventices	- Biomasse, densité, abondance…
	Suivi des stress	- Stress biotiques et abiotiques
	Satisfaction du pilote	- Selon ses attentes
Environnement et contexte	**Données météo**	- Durée d'humectation, hygrométrie… - Pluviométrie, températures
	Pressions biotiques	- Pressions locales - Pressions régionales
	Contexte paysager	- Cultures à proximité, éléments paysagers à proximité (haie, ruisseau...), modification de l'environnement proche parcellaire…
	Contexte socio-économique	- Prix de vente des produits, prix des intrants… - Couts de main d'œuvre…

Les données météo, de pressions biotiques, de contexte (paysages, socio-économique …) peuvent être récupérées *a posteriori*.

b. Nature des données à collecter pour mener à bien l'expérimentation

Les observations, mesures et enregistrements à collecter tout au long de l'expérimentation peuvent être de natures variées comme présenté en Tableau 15.

Points de vigilance

- Il est important de s'assurer de l'adéquation entre les mesures, observations et enregistrements réalisés et les objectifs de l'expérimentation.
- Si l'on souhaite comparer les systèmes, les mêmes données à collecter doivent être choisies dans les différents systèmes testés, le cas échéant dans les différents sites.

Pourquoi valider les données ?

La validation consiste à vérifier la cohérence et la vraisemblance des données (cette donnée est-elle cohérente avec le reste, ou bien est-ce une erreur d'observation ?) et de **garantir leur fiabilité**. Elle a pour objectif de mettre en évidence les biais dus aux observations et mesures, à terme de les limiter. Il faut ainsi vérifier que les données ont bien été acquises grâce à la méthode prévue. Pour limiter les erreurs de saisie, il est possible d'utiliser des outils informatiques au champ empêchant la saisie de valeurs aberrantes ou inappropriées.

Encadré 8 : Exemples de protocole de mesures.

Cas de mesure des contaminations de tavelure du pommier de l'expérimentation système BioREco (Inra de Gotheron, 26) pour déclencher les interventions de gestion de l'inoculum hivernal



Symptômes de tavelure sur feuille de pommier

- L'unité spatiale d'échantillonnage : la pousse.
- Le planning d'échantillonnage : avant la chute des feuilles.
- Le nombre de répétitions : 50 arbres répartis aléatoirement sur la parcelle
- Le plan d'échantillonnage : 2 pousses par arbre choisies aléatoirement
- Le mode opératoire : observations des symptômes de tavelure sur les feuilles des pousses choisies
- L'observation : la fréquence de feuilles tâchées (par comptage si possible, par estimation si le nombre de feuilles devient trop important) et l'intensité de maladie sur le feuillage (estimée).
- La fiche de notation : prévue par le protocole (non présenté ici).

Cas de mesure des émissions de gaz à effet de serre (N_2O) dans le sol sur le dispositif SIC du programme Systèmes innovants sous contraintes (INRA Grignon, 78)

- **L'unité spatiale d'échantillonnage** : chambre de prélèvement sans réhausse (boite carrée étanche, munie d'un septum pour les prélèvements).

- **Le planning d'échantillonnage** : Tous les mois, sur une année complète, de préférence le matin ou en fin d'après-midi, avec des cas particuliers comme :
  - Après une fertilisation azotée, 4 mesures à réaliser dans les 15 jours qui suivent les apports
  - Après la récolte de féverole, des mesures à réaliser tous les 10 jours après la récolte, la première de ces mesures n'étant réalisée qu'après une pluie de 10 mm.

- **Le nombre de répétitions** : 3 chambres sur des parcelles de 4 000 m²

- **Le plan d'échantillonnage** : Chacune des 3 chambres de prélèvement de dimensions 60 x 60 x 25 cm, implantées côte à côte sur chaque modalité.

- **La mesure** : 4 prélèvements de 25 mL de gaz contenu dans les chambres, un toutes les 30 minutes à partir de la fermeture de la chambre. Les prélèvements se font à l'aide de seringues adaptées (35 mL et aiguilles Ø 0,45 mm).

Pour réaliser une mesure dans les meilleures conditions, il faut respecter plusieurs étapes :

- Au préalable de la mesure, installer les chambres (enfoncées de 10 cm dans le sol, en s'assurant de l'étanchéité à l'aide de clips), puis respecter un délai de 48 h avant la première mesure pour s'assurer de la stabilisation des conditions du milieu
- Juste avant la fermeture des chambres, identifier des chemins de passage restreints pour éviter le piétinements autour des chambres, vérifier l'absence de détritus sur les rebords de la chambre au niveau du positionnement des joints du couvercle, s'assurer de l'absence de déjections riches en azote dans l'enceinte pour éviter tout risque de surestimation des émissions (retirer les déjections manuellement le cas échéant et à chaque fois, placer un grillage "anti-lapin")
- Etape 1 : Fermer chaque chambre de manière étanche, en plaçant un couvercle avec des clips (au moins 5 par côté), puis attendre environ 30 minutes pour réaliser le premier prélèvement après fermeture
- Etape 2 : Brasser l'air contenu dans la chambre à l'aide d'une seringue spécifique (60 mL et aiguilles Ø 0,6 mm). Pour cela, commencer par vider la seringue, la planter dans le septum, puis faire 3 aller-retour de piston sur les chambres.
- Etape 3 : Réaliser les prélèvements T0, T1 et T2 à travers le septum du couvercle de la chambre à l'aide d'une seringue de prélèvement (35 mL et aiguilles Ø 0,45 mm). Le prélèvement à T0 s'effectue juste à la fermeture de la chambre. Les prélèvements T1 et T2 s'effectuent toutes les 30 min, après avoir réitéré l'étape 2 de brassage.
- Etape 4 : Injecter les 25 mL de contenu gazeux ainsi prélevé dans le tube de prélèvement de 12 mL préalablement mis sous vide. Les tubes échantillonnés doivent être stockés dans un endroit tempéré, à l'abri de la lumière et envoyés rapidement pour analyse, dans la semaine suivant le prélèvement.



Chambre sans réhausse avec des clips pour étanchéifier

c. Protocoles d'observations et de mesures

Les observations et mesures réalisées doivent produire des données de bonne qualité permettant une bonne représentativité de ce qui se passe dans les parcelles expérimentales.

Les **observations** peuvent être des commentaires, réalisés par le pilote ou un membre de l'équipe expérimentale, qui peuvent être qualitatifs, quantitatifs, relever de son appréciation propre ou de son ressenti. Des photographies ou autres (film, schéma...) peuvent illustrer ces éléments.

Les **protocoles de mesures** doivent être décrits le plus précisément possible. Ils doivent contenir les éléments suivants (voir Encadré 8) :

- La ou les unités spatiales d'échantillonnage : parcelle entière, parcelle sans bordure, placette, plante, organe végétatif ou reproductif...
- Le planning d'échantillonnage : par pas de temps (minute, jour, semaine, années…), à certains stades de la culture ou à certains moments de l'expérimentation (au démarrage, après x années, en fin d'expérimentation…),
- Le nombre de répétitions,
- Le plan d'échantillonnage : taille des unités d'échantillonnage, nombre, distribution sur la surface totale…
- Le mode opératoire : type et mode de mesure dans les unités sélectionnées (photographies page 82), en précisant la méthode, l'échelle de notation, le tutoriel… utilisés,
- La fiche de notation de terrain,
- Le fichier de saisie des données (Partie 4 / Mise en œuvre pratique).

Une fois l'ensemble des protocoles écrits, il est important de réaliser un planning prévisionnel de l'ensemble des observations, mesures, enregistrements à effectuer au cours de l'expérimentation. Il spécifie :

- Ce qui doit être fait
- Quand
- Par qui
- Quelle action est dépendante de quelle(s) autre(s).

Cette étape permet d'organiser le travail et d'éviter des conflits de chantiers. Il peut être nécessaire à ce stade d'ajuster certains protocoles.

Le planning prévisionnel des interventions pourra être combiné avec celui des observations, mesures et enregistrements à réaliser.

A la fin de l'expérimentation (fin de la succession culturale ou durée déterminée à l'avance), on peut réaliser un état final des parcelles de manière à le comparer avec l'état initial (Partie 3 / Construction) et avec les attentes du pilote.



Réalisation d'une fosse en vue d'un profil cultural réalisé sur verger, au niveau du rang et de l'inter-rang.



Fosse pour profil racinaire.
L'étude de la répartition des racines de vignes le long des horizons du sol permet de voir quel volume de sol est disponible pour les racines de la vigne.



Observations de systèmes racinaires de tomate.
Elles ont pour objectif de vérifier la présence ou l'absence d'attaque par les champignons du sol. Ici on peut observer la présence de corky-root, qui forme des manchons liégeux sur les racines.



Stock semencier réalisé sur les parcelles du domaine expérimental Inra d'Epoisses.
Protection intégrée contre les mauvaises herbes des champs cultivés.
Ces mesures ont été réalisées afin de voir les effets cumulatifs sur le long terme des SdC sur les stocks semenciers des différentes parcelles de l'expérimentation. Cette photographie a été prise après un tamisage et un tri d'échantillons de sol.



Mesure du potentiel hydrique foliaire de tige dans une chambre à pression.
Cette mesure permet d'évaluer la contrainte hydrique à laquelle est soumise un pied de vigne.



Mesure de la résistance stomatique avec un poromètre AP4.
Cette mesure permet d'étudier l'ouverture des stomates, et donc la régulation par la vigne de la transpiration (émission d'eau) et de la photosynthèse (admission de CO_2).

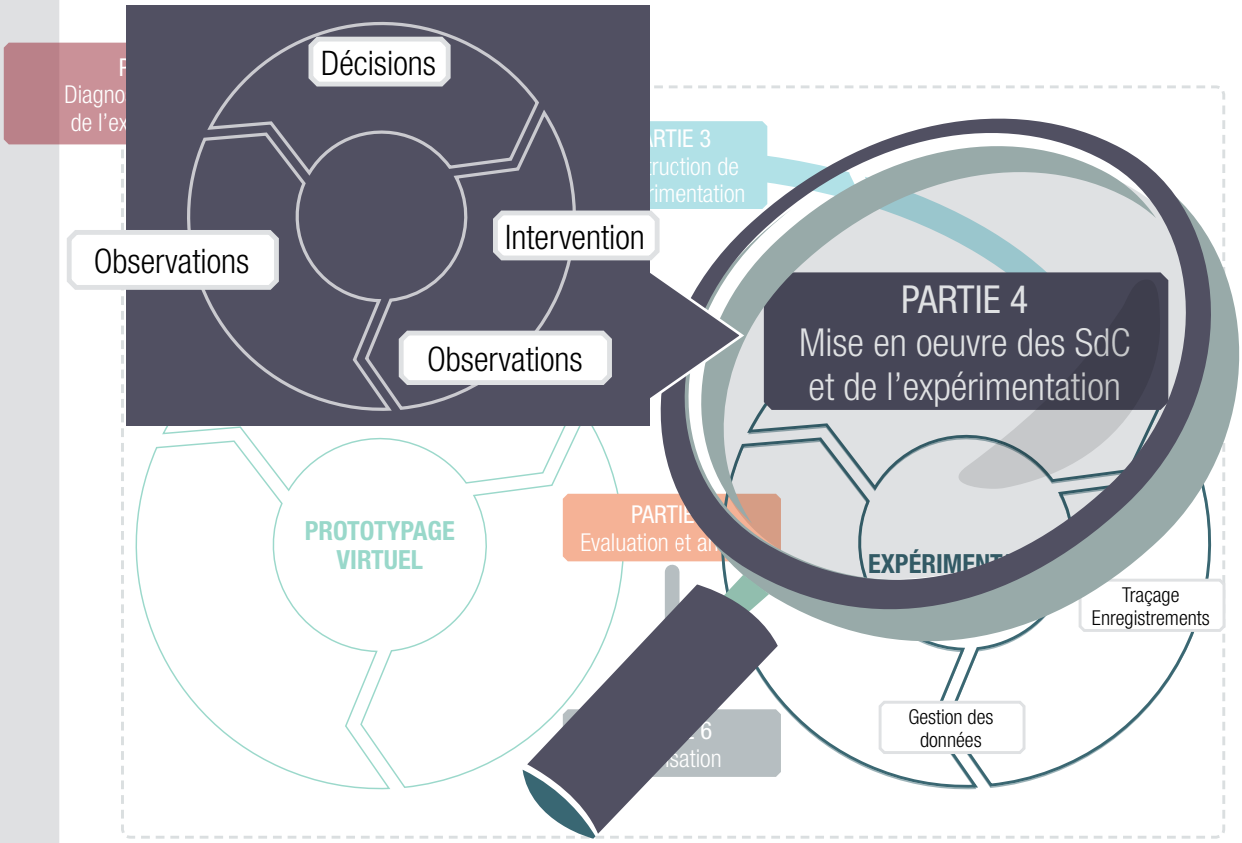
Points de vigilance

- Le protocole doit être adapté au rôle de la mesure effectuée, à l'objectif et le cas échéant permettre les éventuelles analyses statistiques que l'on souhaite réaliser.
- Pour assurer la robustesse des résultats, il est conseillé d'utiliser des protocoles partagés et validés. En particulier, une simplification des protocoles peut rendre les résultats inutilisables. Il existe des sources de protocoles sur différentes thématiques (Annexe 7, page 141).
- Dans le cadre d'un réseau multisite, l'utilisation de protocoles communs est recommandée si l'on a pour objectif de comparer, confronter les résultats obtenus sur les différents sites.
- Des observations régulières de l'état du sol, du peuplement, des bioagresseurs présents… et notées de manière succincte dans les fiches d'enregistrement s'avèrent généralement être des informations précieuses pour la compréhension, l'analyse et l'évaluation. Par exemple, il est intéressant d'avoir un suivi simple et très fréquent des adventices ("à telle date (stade 3 feuilles du blé), j'ai vu telles graminées"), plutôt qu'un seul comptage très précis à un instant T.
- Pour certaines mesures et observations (stock semencier, taux de MO…), il est important de faire un état initial de la parcelle pour avoir un diagnostic de départ et interpréter les mesures ultérieures.
- Certaines observations et mesures peuvent être destructives. Dans ce cas, il faut prendre en compte l'impact de leur réalisation sur les observations ultérieures pour définir la zone de travail et veiller à ce que les surfaces de récolte disponibles à la fin de l'expérimentation soient suffisamment représentatives de la réalité. On retrouve, par exemple, la réalisation de profils culturaux, le prélèvement de biomasses à floraison, à la récolte, le prélèvement de plantes pour des observations du système racinaire (page ci-contre)...
- Il peut être pertinent de :
  - Repérer (GPS, marquage des plantes pérennes…) les zones d'observation et de mesure pour le suivi dans le temps,
  - Cumuler différentes observations aux mêmes endroits pour faciliter l'analyse, voire faciliter l'organisation du travail.

Figure 16 : Etape 4 de mise en œuvre de l'expérimentation système (adapté de la méthodologie du RMT SdCi, Deytieux *et al.*, 2012).

Ce qu'il faut produire…

- données issues de la collecte
- ensemble des décisions prises et leurs justifications



PARTIE 4
Mise en œuvre pratique des systèmes de culture et de l'expérimentation

La mise en œuvre pratique de l'expérimentation correspond à la mise en place du (ou des) système(s) de culture sur les parcelles et à l'application du protocole expérimental (Figure 16).

Ce qu'il faut produire à cette étape

- **données collectées nécessaires au pilotage, à l'évaluation*[1] et à l'analyse du système de culture***
- **ensemble des décisions prises, ainsi que leurs justifications (ajustement du système…)**

1. Expérimentation du système

L'expérimentation du système de culture consiste à assurer la coordination des différentes activités, à piloter le système et à réaliser l'ensemble des mesures, observations et enregistrements nécessaires à l'évaluation et à l'analyse.

Les activités à réaliser par les différents acteurs sont répertoriées dans le Tableau 16 (page 86), chaque acteur pouvant avoir plusieurs rôles en fonction de ses compétences.

Points de vigilance :

- La coordination des acteurs et leurs rôles dédiés est un des points clés pour la réussite d'une expérimentation système*.
- Il est conseillé de former les praticiens et observateurs, si possible de limiter leur nombre, pour réduire l'hétérogénéité dans les pratiques et observations.

1 Les mots signalés d'un * sont définis dans le glossaire, à la fin du guide.

Tableau 16 : Principales activités et acteurs permettant la mise en œuvre de l'expérimentation système.

Activités	Rôles des acteurs	Description des activités
Coordination	**Responsable de l'expérimentation**	- **Veille** à la qualité et à l'intégrité du suivi de l'expérimentation - **Coordination** de l'action des intervenants dans l'expérimentation - **Facilitation du dialogue** entre les différents intervenants
	Pilote*	- **Veille à l'atteinte** des objectifs* et à la cohérence agronomique* du système de culture - **Facilitation du dialogue et de la coordination** entre les observateurs et les praticiens pour appliquer le système décisionnel
	Responsable de l'expérimentation, pilote	- **Réalisation de synthèses annuelles, comptes-rendus** d'expérimentation annuels ou pluriannuels
Pilotage du SdC	**Observateurs**	- **Réalisation et enregistrement** des observations et mesures requises par les règles de décision
	Pilote, Praticien(s)	- **Prise de décisions** d'intervention ou pas au champ, selon les observations réalisées - **Traçabilité** des prises de décision et de leurs causes
	Praticien(s)	- **Réalisation** des interventions techniques
		- **Qualification** des interventions techniques (bonne, moyenne, mauvaise, autre…)
		- **Enregistrement** de l'ensemble des interventions techniques sur l'expérimentation, qu'elles soient régies par des règles de décision* ou systématiques
Activités préalables aux évaluations et analyses du système	**Observateurs**	- **Réalisation**, selon les protocoles définis, **et enregistrement** des observations et mesures nécessaires à l'évaluation et à l'analyse des résultats* et performances*
	Gestionnaire des données	- **Rassemblement, validation et organisation** des observations, mesures et enregistrements

2. Ajustement du système décisionnel

Il est difficile de prévoir l'ensemble des situations possibles lors de la conception des systèmes de culture (Partie 2 / Conception) et de la construction de l'expérimentation (Partie 3 / Construction de l'expérimentation), car :

- les connaissances peuvent être limitées sur certains points,
- des règles de décision (RdD) peuvent s'avérer insuffisamment précises ou différemment comprises par les acteurs,
- certaines situations peuvent ne pas avoir été prévues au moment de l'écriture des RdD.

Aussi, les RdD peuvent le cas échéant être ajustées.

a. Ajustement des règles de décision existantes

Lorsque le pilote n'est pas satisfait de la mise en œuvre ou des résultats d'une RdD, l'ajustement peut avoir lieu. Il est recommandé de réaliser les ajustements à la fin de la campagne culturale. Toutefois, avant de procéder à cet ajustement, il est nécessaire de comprendre les raisons de cette insatisfaction.

Si ces raisons ne sont pas claires, il peut être nécessaire de reconduire la RdD telle quelle. Plusieurs autres moyens peuvent permettre de clarifier la situation :

- mettre en place des suivis complémentaires permettant de comprendre les processus en jeu (Loyce *et al.*, 2008),
- mettre en place un essai factoriel en parallèle de l'expérimentation (Meynard *et al.*, 1996 ; Drinkwater, 2002),
- intégrer une variante de la RdD sur une partie de l'expérimentation, si la parcelle est suffisamment grande, que le processus en jeu n'a pas d'effets cumulatifs majeurs et qu'il n'impacte pas le reste de la parcelle (Loyce *et al.*, 2008),
- tester, une année donnée, la RdD actuellement non satisfaisante et la RdD améliorée afin de les comparer.

Lorsque l'on optimise une RdD, il faut conserver le cadre d'objectifs et de contraintes, les attentes* et la cohérence agronomique du système, ou encore revoir un objectif inadapté ou impossible à atteindre. La solution est adaptée, par exemple en rajoutant des « si…, alors … ; sinon », en modifiant un seuil, en introduisant de nouvelles techniques*…

Concrètement, lors des premières années de l'expérimentation, il y a un temps de calage nécessaire et des ajustements fréquents des RdD. Ces ajustements sont faits à partir des enseignements tirés de la pratique et ne sont pas forcément issus d'une évaluation pluriannuelle des RdD.

Encadré 9 : Recommandations pour le pilotage d'une expérimentation système.

Définir des priorités entre pilotage du système de culture et observations à réaliser pour les analyses

Par exemple, un désherbage mécanique est programmé sur la parcelle, les adventices et la culture sont aux stades désirés, la parcelle est praticable et les prévisions météo sont bonnes, cependant un relevé de flore est également prévu à ce moment-là. Si l'on réalise le désherbage, l'analyse des résultats obtenus ne pourra être complète car un relevé de flore manquera. Si l'on réalise le relevé, l'intervention sera remise à plus tard et risque d'être moins efficace, impactant potentiellement les performances du système de culture.
La question qui se pose est : à quelle tâche accorde-t-on plus d'importance ?
Dans ce type de situation, il est recommandé de mettre en œuvre en priorité le système décisionnel et son corpus de règles de décision, afin de garder la cohérence du système.

Que faire lorsque l'imprévu arrive ?

L'imprévu n'est pas toujours « agronomique ». Par exemple il arrive que les expérimentateurs soient confrontés au refus ou à l'oubli du pilote de mettre en place certaines règles de décision sur ses parcelles.
Il faut alors établir une discussion pour aller vers un compromis permettant de respecter les exigences de l'expérimentation, tout en limitant le risque. Le responsable d'expérimentation et le pilote doivent accepter de déroger à certaines règles qu'ils s'étaient fixées initialement.

Comment mieux communiquer entre acteurs de l'expérimentation système?

La coordination des acteurs relève du responsable de l'expérimentation et du pilote pour la bonne mise en œuvre du SdC et dépend aussi de la bonne volonté de tous les acteurs intervenant sur l'expérimentation. D'une manière générale, les échanges fréquents entre les expérimentateurs permettent de gérer les conflits entre activités, de gérer la disponibilité des personnes, d'être réactif aux imprévus, de s'adapter, de développer et de s'approprier de nouvelles techniques. Il est important de veiller à ce que tout le monde, y compris les praticiens, **ose parler, parle et soit écouté** ! (Fiorelli *et al.*, 2014).

b. Ajustements en cours de pilotage pour s'adapter aux imprévus

Les imprévus qui peuvent survenir durant l'expérimentation sont de plusieurs natures. Il peut s'agir d'imprévus «agronomiques » comme un ravageur non ciblé, mais également d'imprévus « organisationnels », par exemple le refus ou l'oubli par l'agriculteur ou le pilote en station de réaliser une intervention à cause du risque qu'elle représente pour lui, d'un défaut d'organisation ou encore de communication (Encadré 9)…

Dans le cas d'imprévus « agronomiques », il est nécessaire d'ajuster les RdD existantes pour prendre en compte ces situations, ou d'en créer de nouvelles. Certains imprévus peuvent avoir un fort impact sur la suite et la validité de l'expérimentation (perte de culture, effets cumulatifs négatifs sur le système de culture…). Dans ce cas-là, la réaction du pilote doit être rapide.

Les imprévus « organisationnels » sont, quant à eux, souvent dus à des défauts de coordination des équipes et/ou à des insuffisances de communication entre les différents acteurs. Pour éviter cela, il est important de bien préparer l'expérimentation en amont en définissant précisément les rôles de chacun, d'organiser régulièrement des échanges entre les acteurs (Partie introductive, page 27).

Point de vigilance

Lorsque l'on modifie les RdD, il faut faire attention aux incidences directes ou indirectes, voulues ou non, sur l'ensemble du système. Les changements fréquents de RdD en cours d'expérimentation peuvent entrainer des difficultés d'analyse sur le long terme (Partie 5 / Evaluation et analyse).

3. Gestion des données

La gestion des données issues de l'expérimentation consiste à rassembler, valider et organiser les données, de manière à ce qu'elles soient utilisables pour les évaluations et les analyses du système (Cady, 1991).

L'organisation pour gérer les données dépend des expérimentations mais il existe quelques outils informatiques sécurisant l'archivage, qui peuvent aider :

- Les tableurs,
- Les bases de données, par exemple, avec Systerre, Agrosyst pour les interventions pratiquées, observations et mesures, ainsi que les RdD, dans le cadre du réseau DEPHY EXPE, ou encore avec des bases de données conçues spécifiquement.

Figure 17 : Etape 5 d'évaluation et d'analyse de l'expérimentation système (adapté de la méthodologie du RMT SdCi, Deytieux *et al.*, 2012).

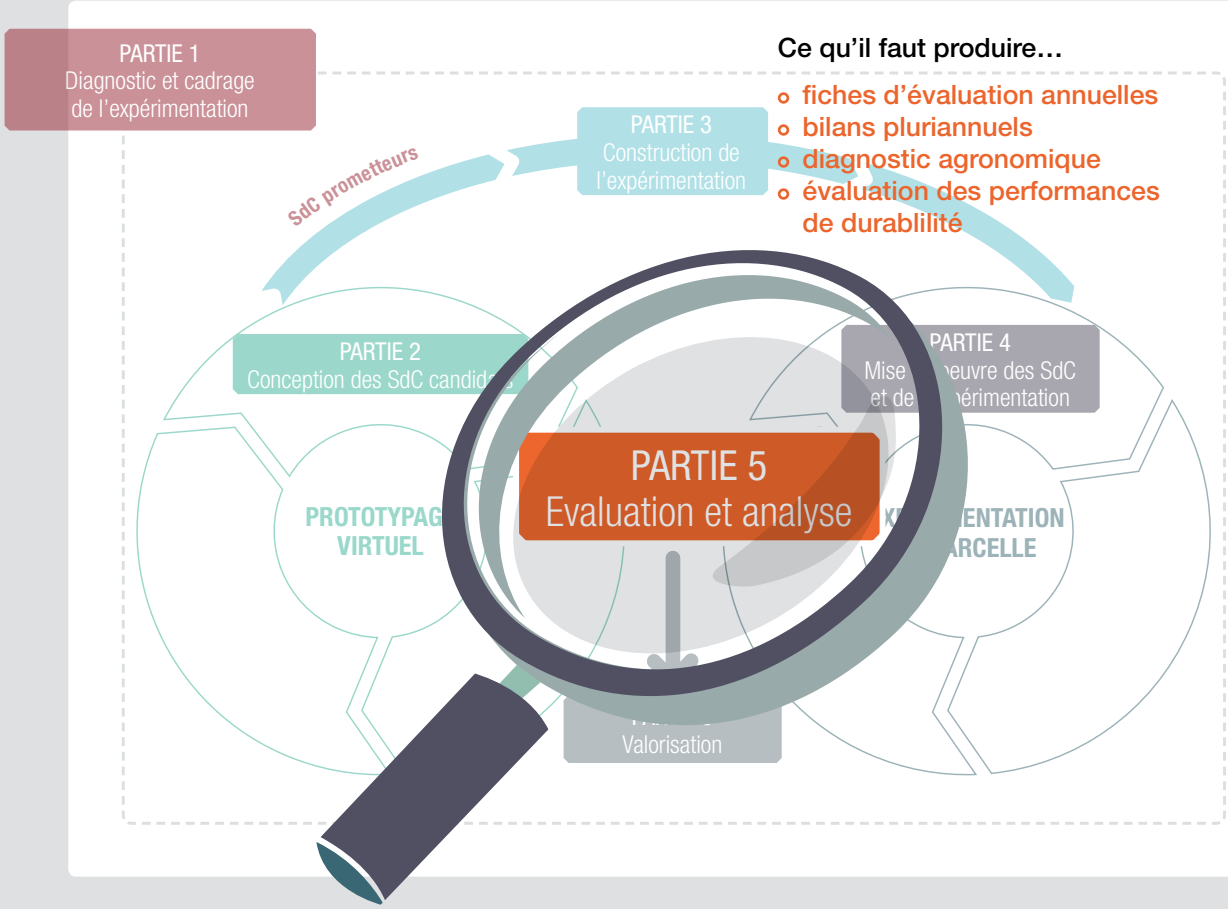
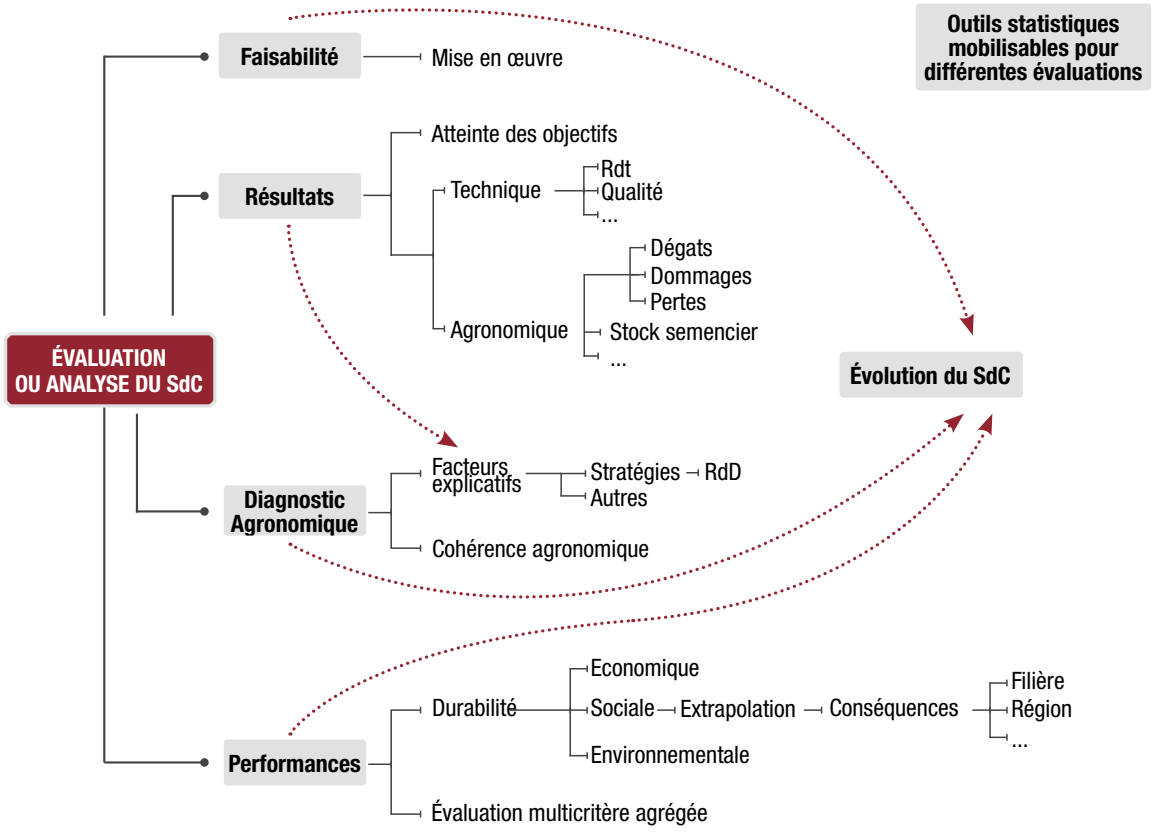


Figure 18 : Les différentes évaluations possibles à partir d'une expérimentation système.



PARTIE 5
Evaluation et analyse

Plusieurs types d'évaluation*[1] peuvent être réalisés (Figures 17 et 18) :

- **faisabilité technique***,
- **résultats techniques et agronomiques**,
- **diagnostic agronomique***,
- évaluation multicritère* des performances*,
- certaines évaluations peuvent entraîner des évolutions du système de culture* testé.

Les données collectées lors de la mise en œuvre de l'expérimentation système* (Partie 3 / Construction de l'expérimentation et Partie 4 / Mise en œuvre) sont mobilisées pour :

- analyser les résultats* obtenus et les performances,
- comprendre le lien entre stratégies de gestion*, interventions culturales, résultats et performances.

Ce qu'il faut produire à cette étape

- **fiches d'évaluation annuelles, comprenant la faisabilité technique, les résultats* agronomiques et techniques**
- **bilan pluriannuel du (ou des) système(s) de culture testé(s), à partir du système pratiqué ou/et réalisé, de la faisabilité technique**
- **diagnostic agronomique**
- **performances de durabilité* du système, formalisées sous forme de tableau de bord, de graphique simple ou en radar, de graphique en arbre synoptique.**

Doit-on faire des analyses statistiques sur une expérimentation système ?

Les expérimentations système visent en premier lieu à évaluer le niveau d'atteinte des objectifs* et résultats attendus en mettant en œuvre un système décisionnel.

Pour cela, il n'est pas nécessaire de recourir systématiquement à des analyses statistiques. Cependant, certaines, telles le calcul d'intervalles de confiance et l'étude de la distribution des mesures et observations effectuées sur la parcelle, peuvent permettre de mieux caractériser les résultats.

Pour la comparaison ou le classement de systèmes entre eux ou par rapport à une référence*, il est possible de mobiliser des tests de type non paramétrique (comparaison de moyennes, médianes …). On peut s'appuyer sur des répétitions (échantillonnage sur différentes parcelles du SdC) si le dispositif le permet ou des pseudo-répétitions (échantillonnage en différents points sur une même parcelle du système).

Enfin, il est possible de mobiliser des statistiques descriptives comme les analyses multivariées sur différents paramètres mesurés. En particulier, dans le cas de réseaux d'expérimentation, on peut travailler sur des typologies de systèmes du réseau (par rapport aux stratégies mises en œuvre, aux situations de production...) pour étudier leurs impacts sur les résultats et performances des systèmes.

La mise en évidence des déterminants des performances nécessite aujourd'hui de résoudre des difficultés méthodologiques, sur le plan statistique, pour tenir compte des interactions complexes entre situation de production* et stratégie agronomique. La (ou les) stratégie(s) gagnante(s) pour concilier différents enjeux* de durabilité ne sont pas forcément les mêmes dans des situations de production contrastées (Deytieux *et al.*, 2012 ; Payne *et al.*, 2015 ; Onofri *et al.*, 2016 ; Berti *et al.*, 2016 ; ...).

De nombreuses ressources statistiques sont disponibles, en particulier dans le domaine de l'écologie.

1 Les mots signalés d'un * sont définis dans le glossaire, à la fin du guide.

Tableau 17 : Exemple du SdC « pratiqué » obtenu sur l'expérimentation de Rouffach (2010-2012).

Cultures Interventions	Maïs	Soja	Blé
Interculture précédente	2 pratiques possibles : - 2 fois sur 3 : semis 27/7 au semoir direct Séméato Tournesol (18 kg) + vesce de printemps (22 kg) **ou** - 1 fois sur 3 : 30/7 : broyage (chénopodes) (1 fois sur 2) 20/8 : glyphosate 7 l/ha 31/8 : moutarde 10 kg au distributeur d'antilimace Broyage de la moutarde selon biomasse et effet du gel (1 fois sur 3)	6/6 : Navette 15 kg (semis sur bineuse dans maïs) broyage des cannes de maïs (1 fois sur 2 le 16/10 : ou 1 fois sur 2 le 10/12)	
Travail du sol Faux semis	15/11 : strip-till (striger Kuhn) à 15 cm de profondeur	15/12 : chisel 15 cm de profondeur 20/3 : faux semis (vibroculteur) 4/5 : faux semis (vibroculteur)	10/10 : houe rotative (1 fois sur 3)
Semis et variété	19/4 : variété DKc 4197 à 96 000 grains/ha semoir monograine	Inoculation simple 5/5 : semis variété Kassidi (SD Séméato) écartement 17 cm 650 000 grains/ha 5/5 : roulage (1 fois sur 2)	17/10 : semis Arlequin, 160 kg/ha (380 grains/m^2), (SD Séméato)
Fertilisation	17/4 : 150 u K_2O sous forme de KCl 19/4 : 150 kg 18-46 en localisé au semis sur le rang 15/5 : 120 kg urée 5/6 : 190 kg urée	17/4 : 110 u K_2O sous forme de KCl	2/4 : 300 kg ammonitrate 27 (stade épi 1 cm) 11/5 : 140 kg ammonitrate 27 (2 fois sur 3) avec N-tester
Protection des cultures	non renseignée dans cet exemple		
Irrigation	1/5 : 20 mm (2 fois sur 3) 13/6 : 20 mm (1 fois sur 3) 14/7 : 35 mm 6/8 : 30 mm 17/8 : 30 mm 25/8 : 35 mm	6/5 : 20 mm (2 fois sur 3) 6/8 : 35 mm 17/8 : 35 mm 25/8 : 35 mm	2/4 : 39 mm 23/5 : 48 mm
Récolte/ export des résidus	15/10 : récolte 111,5 q/ha (min 95 – max 121 q/ha) et humidité 24,8 %	22/9 : récolte 32 q/ha (min 29 – max 36 q/ha)	17/7 : récolte 68 q/ha (min 63 - max 72 q/ha), pailles exportées 3,5 t (2 fois sur 3).

Dans le cadre d'une expérimentation menée par l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace et l'Inra sur des parcelles du lycée agricole de Rouffach (68), le « pratiqué » a été défini à partir des opérations culturales réalisées sur 3 parcelles sur une rotation complète 2010-2012. Le rendement obtenu en maïs en 2010 était faible avec environ 84 q/ha, en raison de fortes attaques de pyrale dues au rôle refuge du maïs en zones focus chrysomèles. Le faible rendement obtenu n'était donc pas imputable au système de culture. Dans le calcul de la moyenne des rendements en maïs sur la période de l'expérimentation, celui de 2010 a donc été corrigé à 95 q/ha afin de limiter le biais « pyrale ». Dans le système pratiqué, le rendement en maïs a été obtenu en faisant la moyenne avec la valeur corrigée en 2010 et des rendements réels obtenus les autres années.

Pour le blé, les rendements obtenus ont été faibles certaines années, en raison d'un manque de disponibilité de main d'œuvre pour irriguer le blé au bon moment. Ces résultats étant attribués au système, ils ont été mobilisés pour le calcul du rendement du système pratiqué.

Les dates retenues correspondent aux dates médianes des pratiques réelles enregistrées.

Les fréquences permettent de prendre en compte la variabilité interannuelle.

1. Données pour réaliser les évaluations et les analyses

Il est possible de faire l'évaluation à partir des mesures et observations, du système réalisé et du système pratiqué.

a. Le système réalisé

Il s'agit de l'ensemble des interventions culturales et des résultats techniques pour chaque parcelle, chaque année. Le système réalisé permet de :

- faire un bilan annuel du système testé
- évaluer et faire des propositions d'évolution des règles de décision*.

b. Le système « pratiqué »

Le système de culture pratiqué, également appelé « synthétisé », est la synthèse des interventions culturales et des résultats techniques de l'ensemble des parcelles du système de culture, sur plusieurs années. On distingue les pratiques récurrentes et les variantes sous forme d'amplitudes de variation (ou fréquences ou fourchettes) dans un contexte précis.

Il permet la caractérisation des performances, en s'affranchissant des aléas, et la facilitation du transfert. Il synthétise, rétrospectivement, la manière dont le système décisionnel s'est traduit concrètement en matière d'interventions culturales successives.

La réalisation de cette synthèse nécessite une expertise pour notamment ne pas prendre en compte les accidents non imputables à la stratégie du SdC (par exemple, aléas climatiques exceptionnels, dégâts de gibiers, erreurs humaines…) et prendre en compte les variations climatiques en tenant compte de la fréquence locale sur la durée de l'expérimentation.

Le système « pratiqué » permet de faire une évaluation plus rapidement grâce à sa forme synthétique.

Le Tableau 17 présente un exemple de système pratiqué partiel de l'expérimentation système de Rouffach.

Point de vigilance

Les données brutes (non synthétisées), ainsi que les modifications qui leurs sont apportées et les raisons de ces modifications le cas échéant, doivent être conservées et tracées pour y revenir si besoin.

c. Les mesures, observations et enregistrements

Certaines mesures et observations collectées (Partie 3 / Construction) non présentes dans les systèmes réalisés et pratiqués sont utilisées pour le diagnostic agronomique et les évaluations.

Tableau 18 : Trois exemples d'évaluation de la faisabilité technique.
K : Coefficient cultural de l'espèce sur la période concernée ETP : Évapotranspiration potentielle sur la période considérée
P : Précipitations durant la période

	Description du SdC prévisionnel		SdC réalisé	Analyse et évaluation de la faisabilité		
	Attentes* du pilote*	Interventions prévues et RDD	Technique* réalisée (date, dose, réglage des machines)	Ecart au prévisionnel (conforme/modéré/ majeur) Pourquoi ?	Avis sur la technique réalisée (conditions, qualité de réalisation,…)	Faisabilité technique
Implantation	Rendement poireau de 35 t/ha de calibre 30/40	Planter des poireaux à la densité 130 000 pieds / ha	Semis de carotte à 0,5 kg/ha, le 29 avril	Mauvaise culture implantée pour cause de mauvaise communication avec le producteur		**Non évaluable en raison de la non application de la RdD**
Désherbage	Densité en morelle noire < 3 plantes/m^2 sur maïs	Réaliser 3 faux semis avant le semis du maïs.	Aucun faux-semis réalisé	Oui, majeur	Conditions climatiques non adaptées (sol non ressuyé sur la période, outil inefficace) ;	**Non faisable**
Irrigation	Pas de stress hydrique visible sur l'arbre	Irrigation par micro-jets pendulaires. Déclenchement à partir des mesures des tensiomètres à 30 et 50 cm de profondeur (seuil : 50 centibars), calcul de dose : mm = k*ETP-P	Irrigation par micro-jets pendulaires réalisée selon la RdD.	Aucun	Les valeurs des tensiomètres à 50 cm augmentent légèrement après chaque irrigation, signe que les doses appliquées sont correctes.	**Bonne faisabilité technique**

2. Types d'évaluations et d'analyses

a. Evaluation de la faisabilité technique

La faisabilité technique qualifie l'aptitude à mettre en œuvre une pratique culturale, une règle de décision ou un corps de règles de décisions dans le contexte de production considéré (Debaeke *et al.*, 2008). Son évaluation se fait le plus souvent *a posteriori* de l'expérimentation en analysant les fréquences auxquelles les pratiques ont pu être mises en œuvre ou non, grâce à l'enregistrement des interventions réalisées (dates, conditions, réglages des machines, qualité d'intervention ...).

L'évaluation de la faisabilité technique permet de s'assurer de la possibilité de mise en œuvre du SdC en observant et en caractérisant l'écart entre les systèmes réalisé et prévisionnel.

Questions que l'on doit se poser :

« Les RdD ont-elles été appliquées ? Si non, pourquoi ? »
« Les interventions prévues ont-elles été réalisées ? Si non, pourquoi ? »

Si les écarts sont dus à des problèmes d'ordre technique (fenêtres climatiques trop courtes, conflits de chantier ...), la faisabilité technique du système de culture peut être remise en cause.

Une mauvaise faisabilité technique doit aboutir à des évolutions des règles* de décision.

Si les écarts sont dus à des erreurs d'interprétation, on peut s'interroger sur la qualité des protocoles, des RdD, de la bonne communication entre les intervenants… Les règles de décision qui ne seraient pas assez claires, précises ou complètes doivent alors être améliorées.

Les données mobilisées pour cette évaluation sont :

- la description du système prévisionnel (système décisionnel de la Partie 2 / Conception)
- les données concernant les pratiques culturales réalisées (ou non), y compris les conditions d'intervention et la qualité du travail (Partie 3 / Construction de l'expérimentation)
- les causes ayant conduit à ces interventions ou non interventions (état de la parcelle, contexte annuel, organisation du travail…).

La faisabilité s'étudie dans un premier temps au niveau annuel (Tableau 18). Une synthèse à l'échelle pluriannuelle permet d'établir des fréquences d'intervention.

Il est également nécessaire de vérifier la compatibilité des règles de décision entre elles.

Tableau 19 : Satisfaction du pilote sur les résultats techniques en 2010. En vert, les attentes ont été satisfaites ; en orange, elles ont été partiellement satisfaites ; en rouge, elles n'ont pas été satisfaites ; en blanc, il n'y a pas de résultat disponible.

Sur l'expérimentation système de Tart-le-Bas portée par le lycée agricole de Quétigny-Plombières-lès-Dijon (21) l'une des attentes du pilote est d'obtenir les rendements suivants : entre 75 et 80 q/ha en blé tendre d'hiver et orge, entre 100 et 110 q/ha en maïs, entre 25 et 30 q/ha en tournesol, entre 45 et 50 q/ha en pois protéagineux et entre 11 et 13 t MS/ha en luzerne/dactyle. Chaque année, le pilote évalue si ses attentes sont satisfaites. Des attentes portent également sur la qualité meunière du blé et sur la qualité des semences de pois.

		2010
Rendements	Blé tendre d'hiver	81,5 q/ha
	Orge	80 q/ha
	Maïs	
	Tournesol	25 q/ ha
	Pois	36,6 q/ha
	Luzerne/dactyle	10,5 t MS/ha
Qualité	Blé qualité meunière (PS, taux de protéine, hagberg)	PS = 78,7 kg/hl Taux de protéine = 11,7 %
	Pois qualité semence (bruches, impuretés)	sain

Tableau 20 : Exemple de résultats agronomiques obtenus par année entre 2010 et 2012 et moyenne/culture. En rouge, sont représentés les résultats non conformes aux attentes du pilote et, en vert, celles qui sont conformes. La moyenne/parcelle est ici représentée, car l'on cherche à évaluer l'effet du SdC testé sur les densités d'adventices de chaque parcelle.

Dans le cadre d'une expérimentation menée par l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace et l'Inra sur des parcelles du lycée agricole de Rouffach (68), l'une des attentes du pilote du système est d'obtenir des densités en liseron inférieures à 1 plante pour 20 m² à la récolte de chacune des 3 cultures constituant la rotation.

	2010	2011	2012	SdC
Parcelle 1	Maïs	Soja	Blé	Liseron à la récolte >1 plante /20 m²
Parcelle 2	Blé	Maïs	Soja	Liseron à la récolte < 1 plante /20 m²
Parcelle 3	Soja	Blé	Maïs	Liseron à la récolte >1 plante /20 m²

Sur la parcelle 3, les attentes ne sont satisfaites pour aucune des années. Sur la parcelle 2, au bout d'un an, les attentes sont satisfaites. Sur la parcelle 1, l'évolution de la flore en liseron tend à s'améliorer, la satisfaction du pilote est atteinte la troisième année, même si en moyenne sur les 3 années du système, les attentes ne sont pas atteintes.

Un diagnostic agronomique pourra sans doute permettre d'expliquer ces différences de résultats obtenus. La conduite d'une rotation supplémentaire permettra de juger de la pertinence de la stratégie pour maîtriser les liserons.





b. Evaluation des résultats techniques et agronomiques

Cette évaluation consiste à vérifier que les principaux objectifs et attentes* assignés au SdC testé (Partie 1 / Diagnostic et cadrage et Partie 2 / Conception) ont bien été atteints. On distingue deux types de résultats :

- les résultats agronomiques qui décrivent l'état des parcelles et des cultures comme le salissement de la parcelle, l'état structural du sol, les dégâts de bioagresseurs, les symptômes de carence…
- les résultats techniques qui sont ceux de la production comme le rendement et la qualité de la récolte.

Cette évaluation se fait en confrontant les attentes, définies par le pilote du système, et les résultats effectivement obtenus.

Les attentes peuvent être définies dans l'absolu ou relativement à une référence* (Acosta-Alba et van der Werf, 2011), qui peut être :

- Fixe, c'est-à-dire basée sur des résultats techniques ou scientifiques ou sur des normes réglementaires (choix de société…). Ce sont des repères partagés mis en lien de manière indirecte avec les pratiques agricoles, par exemple, la teneur en nitrate de la lame drainante inférieure à 50 mg/L,
- Evolutive, notamment définies à partir du système de référence (Partie 3 / Construction), par exemple, l'IFT du système testé inférieur de 50% à l'IFT du système du producteur voisin.

Cette évaluation se fait à plusieurs échelles :

- A l'échelle annuelle ou d'une culture (Tableau 19),
- A l'échelle pluriannuelle en bilan intermédiaire ou final (Tableau 20 ; Annexe 8, page 143).

Points de vigilance

- Un système de culture ne peut pas être jugé sur une seule campagne culturale,
- La moyenne n'est pas le calcul le plus approprié dans tous les cas, par exemple sur les cultures pérennes alternantes, le cumul pluriannuel des rendements peut être intéressant ou encore, en cultures assolées, l'évolution du stock semencier ou la densité d'adventices,
- Dans tous les cas il est intéressant d'avoir, en plus, une idée de la distribution des valeurs obtenues (écart type, erreur standard…).

Tableau 21 : Exemple de présentation d'un diagnostic agronomique issus de la fiche de synthèse annuelle du RMT SdCi.
Exemple pour le blé tendre d'hiver.

Objet du suivi	Stades clefs d'observation	Exemples d'indicateurs*	Attentes du pilote	Etat obtenu cette année	Détermination des causes des échecs et des succès
Peuplement	Levée	Densité à la levée (plantes/m²)	95 % de la densité de semis (grains/m²)	Le nombre de plantes/m² est de 96 % de la densité de semis (grains/m²)	**Succès** : La densité de semis a été choisie en fonction de la date d'implantation, du type de sol de la parcelle et de la qualité du lit de semence. Aucun incident constaté.
Peuplement	Sortie hiver	Densité sortie hiver (plantes/m²)	90 % de la densité de semis (grains/m²)	Le nombre de plantes/m² est de 85% de la densité de semis (grains/m²)	**Echec** : Une partie de la parcelle, plus hydromorphe a souffert de la forte pluviosité en début d'hiver, conduisant à des pertes localement importantes.
Septoriose	Toutes les semaines à partir du stade 1-2 noeuds	Note de dégât Echelle qualitative	Note de dégât tout au long de la culture <ou= à celles obtenues sur le SdC de référence	Note toujours < à celle du SdC de référence	**Succès** : Compte tenu de la forte pression septoriose à l'échelle de la région cette année, la stratégie de gestion* de la septoriose est donc satisfaisante.
Fusariose	Récolte	% d'épis touchés	Moins de 10% des épis touchés	Plus de 10 % des épis touchés	**Echec** : le traitement n'a pu se faire au moment de la floraison pour cause de matériel en panne.
Puceron de l'épi (*Sitobion avenae*)	Toutes les semaines à partir de l'épiaison	Pourcentage d'épis avec pucerons	Pourcentage d'épis avec pucerons ≤ à 50%	Pourcentage d'épis avec pucerons > à 50%	**Echec** : La RdD conduisant à une impasse systématique des insecticides anti-pucerons a conduit à un développement important après la floraison, ce qui pourra potentiellement impacter le poids de mille grains (PMG).
Adventices	Levée	Densité d'adventices par espèce	Densité de pâturin < 50 plantes/m²	Densité de pâturin < 50 plantes/m²	**Succès** : Le passage de herse étrille au stade fil blanc a permis de limiter les pâturins au moment de la levée du blé.
Adventices	Récolte	Surface des ronds de chardon	Pas d'augmentation des surfaces par rapport à l'état initial	Pas d'augmentation des surfaces cette année	**Succès** : Le travail d'interculture a limité l'augmentation des surfaces de chardons
Alimentation N	Post récolte	Reliquat azoté post récolte	Reliquat < 50 uN	Reliquat < 50 uN	**Succès** : Avec le rendement et la teneur en protéine obtenus et la climatologie de l'année on peut conclure à une bonne gestion de l'alimentation N cette année.

En plus de ces éléments on peut suivre d'autres critères* dont l'alimentation hydrique, les états du sol (structural, fertilité minérale…)...

Trucs et astuces

Pour une meilleure compréhension des phénomènes d'une année sur l'autre, il est possible de :

- prévoir des observations spécifiques les années suivantes, si un problème survient une année donnée,
- faire l'ensemble des prélèvements voulus et attendre la fin de la campagne afin d'analyser seulement les éléments pertinents en particulier dans le cas où les analyses sont coûteuses et/ou chronophages ... (par exemple, en viticulture, identification des drosophiles si observations de symptômes à la récolte).

c. Diagnostic agronomique

Le diagnostic agronomique consiste en une évaluation du fonctionnement du champ cultivé par rapport à un état attendu (par exemple, le rendement, une densité de peuplement, une biomasse…).

Il permet de :

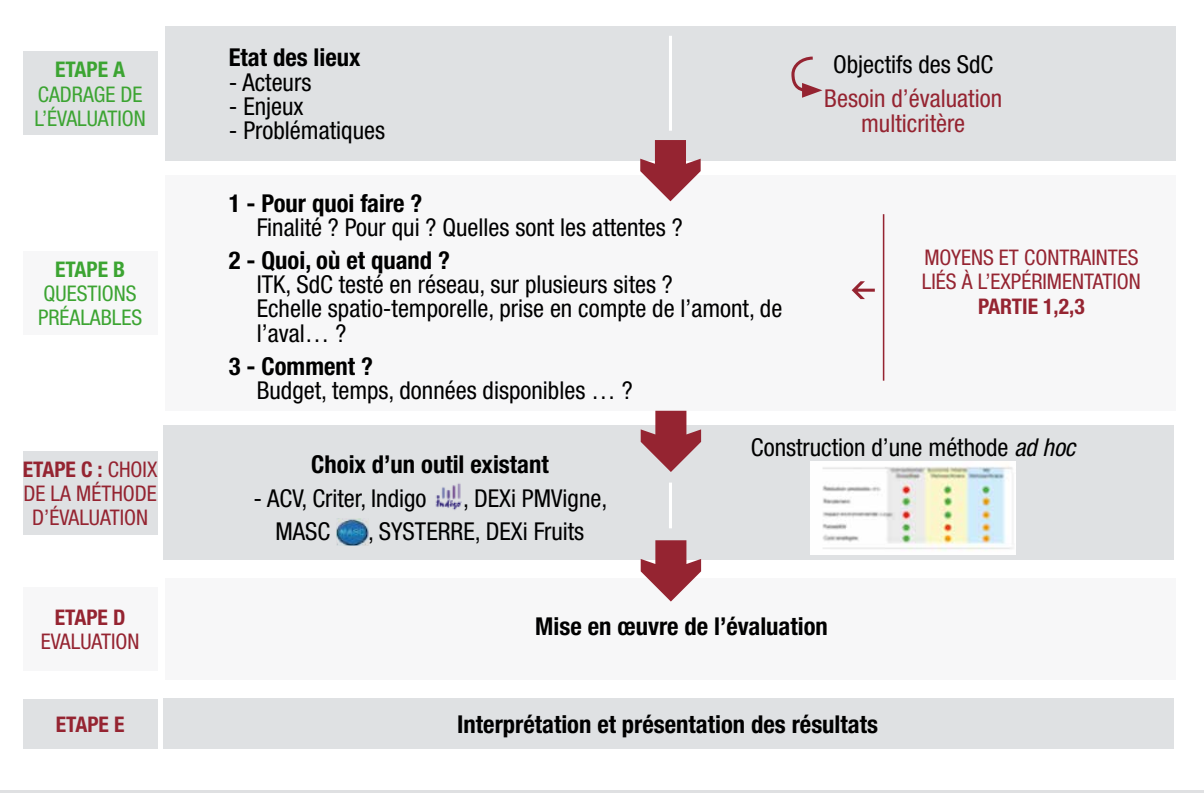
- caractériser l'état du peuplement et/ou du milieu, à l'aide d'indicateurs élémentaires (mesures, observations…) et de relier ces états aux résultats et performances du champ cultivé,
- identifier les échecs, les succès, ainsi que leurs causes (Doré *et al.*, 2006)
- caractériser les « conditions de réussite » des résultats, c'est-à-dire des conditions dans lesquelles ils ont été obtenus pour assurer leur extrapolation à d'autres situations.

Il est réalisé en mobilisant des observations et mesures (Partie 3 / Construction) bien positionnées (stade de culture) et raisonnées en fonction des moyens (financiers, humains….). Il est complété par l'expertise des agronomes et les compétences des différents acteurs intervenant sur l'expérimentation.

Des exemples d'éléments que l'on peut intégrer à un diagnostic agronomique sur blé sont présentés dans le Tableau 21.

Figure 19 : Démarche d'évaluation multicritère (adapté de Lairez ***et al.***, 2015).

La démarche présentée ici est issue du Guide pour l'évaluation multicritère produit par le GIS GC HP2E www.gchp2e.fr et le GIS Elevage Demain www.gis-elevages-demain.org.



d. Evaluation de la durabilité du système de culture

Le système de culture peut également être évalué sur d'autres critères que ceux attendus par le pilote du système ou l'expérimentateur afin de visualiser ses performances de manière plus globale. Cela passe par une évaluation multicritère.

L'évaluation est considérée comme multicritère quand elle repose sur l'analyse et l'interprétation de plusieurs critères conjointement. Il s'agit d'évaluer le système sur l'ensemble des critères choisis dans un contexte donné. On peut notamment évaluer les performances des trois piliers de la durabilité : environnemental, économique et social. Attention toutefois à la difficulté d'interpréter certains indicateurs à l'échelle du système, notamment sur les volets sociaux (temps de travail…) et économiques (excédent brut d'exploitation…).

Les objectifs d'une évaluation multicritère peuvent être multiples (Deytieux *et al.*, 2012) :

- Evaluer les performances de manière globale
- Estimer l'impact du système de culture sur d'autres critères que ceux privilégiés lors de sa conception (antagonismes, synergies…)
- Identifier les points forts et points faibles du système de culture
- Classer différents systèmes de culture de manière globale ou par rapport à certains critères
- Mettre en évidence la sensibilité à un changement du contexte (nouvelle politique, changements de prix…).

Les données mobilisées pour ces évaluations sont l'ensemble des mesures, observations et enregistrements effectués sur l'expérimentation (Partie 3 / Construction de l'expérimentation). En outre, il peut être nécessaire de recourir à des données externes pour certains indicateurs (coûts de main d'œuvre moyen, météo, temps de travail, consommation de carburant…) pour éviter des biais liés aux conditions particulières de l'expérimentation.

La mise en œuvre se fait en cinq étapes (Figure 19) :

Etape A : Cadrage de l'évaluation (Partie 1 / Diagnostic et cadrage)

Etape B : Questions préalables (partie 1/ Diagnostic et cadrage, 2 / Conception, 3 / Construction de l'expérimentation)

Les étapes A et B ont déjà été réalisées lors du cadrage et de la conception de l'expérimentation et ne seront pas développées ci-après.

Etape C : Choix d'une méthode existante ou construction d'une méthode *ad hoc*

Etape D : Mise en œuvre de l'évaluation

Etape E : Interprétation et présentation des résultats

Les trois dernières étapes sont développées ci-après.

Tableau 22 : Exemples de méthodes disponibles pour réaliser les évaluations de durabilité à l'échelle du système de culture, à partir du site du RMT ERYTAGE : http://www.erytage.fr/webplage/index.php?option=com_flexicontent&view=item&cid=62&id=174&Itemid=103.

L'outil MASC 2.0 peut être utilisé à partir des résultats de sorties de CRITER®, et de manière partielle à partir de SYSTERRE®, INDIGO® (*Bockstaller et al.*, 1997) ou EGES®.

Outils	GC et polyculture élevage	Cultures légumières	Arboriculture fruitière	Viticulture	Echelle de restitution des résultats	Dimensions prises en compte	Liens
DEXiPM	■		■	■	SdC	Environnementale, économique et sociale	en partie sur : http://wiki.inra.fr/wiki/deximasc/Main/WebHome
MASC 2.0 MASC 1.0	■				SdC	Environnementale, économique et sociale	http://wiki.inra.fr/wiki/deximasc/Main/WebHome
CRITER®	■				SdC Culture	Environnementale, économique et sociale	http://wiki.inra.fr/wiki/deximasc/package+MASC/CRITER
SYSTERRE®	■				SdC Culture	Environnementale, économique et sociale	http://www.plage-evaluation.fr/webplage/index.php?option=com_flexicontent&view=item&cid=88&id=219&Itemid=124
INDIGO®	■		■	■	SdC Culture	Environnementale (plus de 3 thématiques)	http://www7.inra.fr/indigo/fra/demo.html
EGES ®	■				Culture	Environnementale Estime les impacts potentiels « Gaz à effet de serre » et « Energétiques » des systèmes de culture	http://www.eges.arvalisinstitutduvegetal.fr
Syst'N	■				SdC Culture	Environnementale quantification et de diagnostic des pertes d'azote dans les systèmes de culture	http://www.plage-evaluation.fr/webplage/index.php?option=com_flexicontent&view=item&cid=117&id=253&Itemid=178
…							

Etape C : Choix d'une méthode existante ou construction d'une méthode ad-hoc

Les critères d'évaluation et les indicateurs correspondants ont été définis lors des étapes de cadrage (Partie 1/ Diagnostic et cadrage) et de conception des systèmes de culture (Partie 2 / Conception). On peut utiliser une méthode existante, se référer au Tableau 22 et au guide pour l'évaluation multicritère (Lairez *et al.*, 2015) ou encore à l'article (Bockstaller *et al.*, 2015). On peut également en créer une nouvelle (y compris de nouveaux indicateurs), un exemple est fourni en Annexe 9 (page 145).

Points de vigilance

Lors du choix d'une méthode, il est indispensable de comprendre son fonctionnement et de connaître ce à quoi elle est sensible pour l'interprétation des résultats,

Il faut vérifier que l'ensemble des données nécessaires soit disponible. Il peut être nécessaire de les mettre au format approprié à l'outil (passage du quantitatif au qualitatif par exemple),

Si l'on souhaite moduler une méthode existante afin de l'adapter à ses priorités et/ou à son contexte, il est conseillé de se rapprocher des experts de la méthode.

Critères et Indicateurs : Attention à ne pas les confondre *(Bockstaller et al., 2008)*

Les critères sont des variables qui décomposent le développement durable* et qui servent de base à un jugement. Il peut s'agir par exemple de la rentabilité d'une exploitation agricole.

Les indicateurs permettent de mesurer ou d'estimer les critères. Dans le cas de l'exemple du critère « rentabilité », les indicateurs possibles sont la marge brute, la marge nette ou encore l'excédent brut d'exploitation (Lairez *et al.*, 2015).

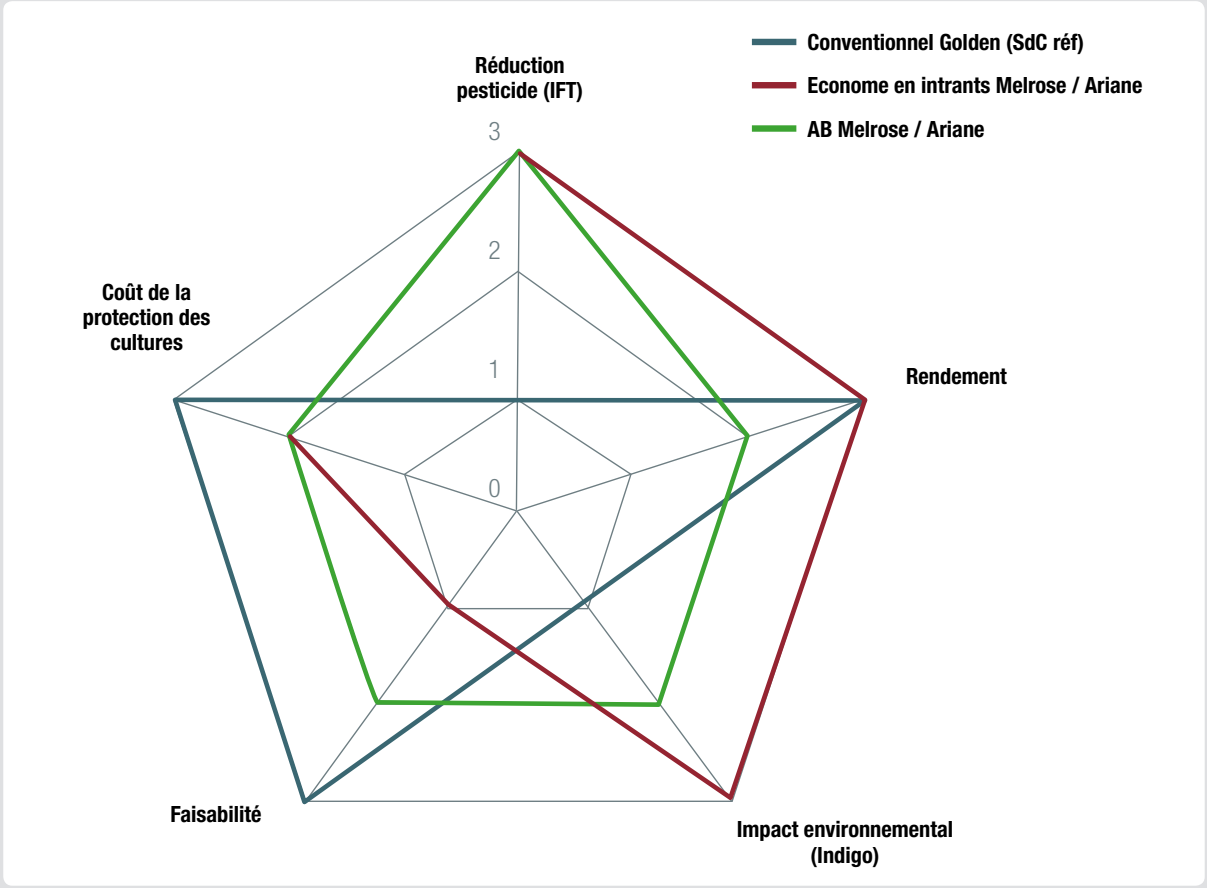
Etape D : Mise en œuvre de l'évaluation

L'évaluation peut nécessiter de remobiliser des éléments de contexte (afin de lier résultats et contexte).

La mise en œuvre de l'évaluation est spécifique à chaque outil. Il faut bien vérifier le paramétrage, la version de l'outil le cas échéant, les seuils utilisés, le besoin de références locales, la qualité des données d'entrée. Il ne faut pas sous-estimer le temps nécessaire à l'appropriation et à l'utilisation de ces méthodes (de quelques heures à quelques jours).

Figure 20 : Graphique en radar issu de l'expérimentation système BioREco (Inra de Gotheron, 26).

Il présente les résultats de trois systèmes de culture, AB (en vert), économe en intrant (en rouge) et conventionnel (en bleu, correspondant au système de référence). Plus la note obtenue est élevée et plus le résultat est favorable. La performance des systèmes de culture testés est ainsi évaluée en identifiant les points forts et faibles de chaque système de culture. Les points forts du système économe sont l'IFT hors NODU vert, son impact environnemental (indicateur INDIGO®) et le rendement ; ses points faibles sont les coûts alloués à la protection des cultures et sa complexité de mise en œuvre (faisabilité).



Etape E : Interprétation et présentation des résultats

À cette étape, il s'agit de :

- Identifier les points forts et les points faibles du système de culture en mobilisant différents indicateurs élémentaires.
- Classer les systèmes en se basant sur une note unique agrégée,
- Juger de la performance en se basant sur des indicateurs agrégés ou non,

L'interprétation doit s'appuyer sur le diagnostic agronomique et la faisabilité technique.

On peut choisir de représenter l'ensemble des critères sous différentes formes, comme par exemple :

- le tableau de bord (Annexe 9, page 145)
- le graphique simple
- le graphique en radar (Figure 20)
- le graphique synoptique avec une note globale et sa décomposition (Figure 21, page 106)
- …

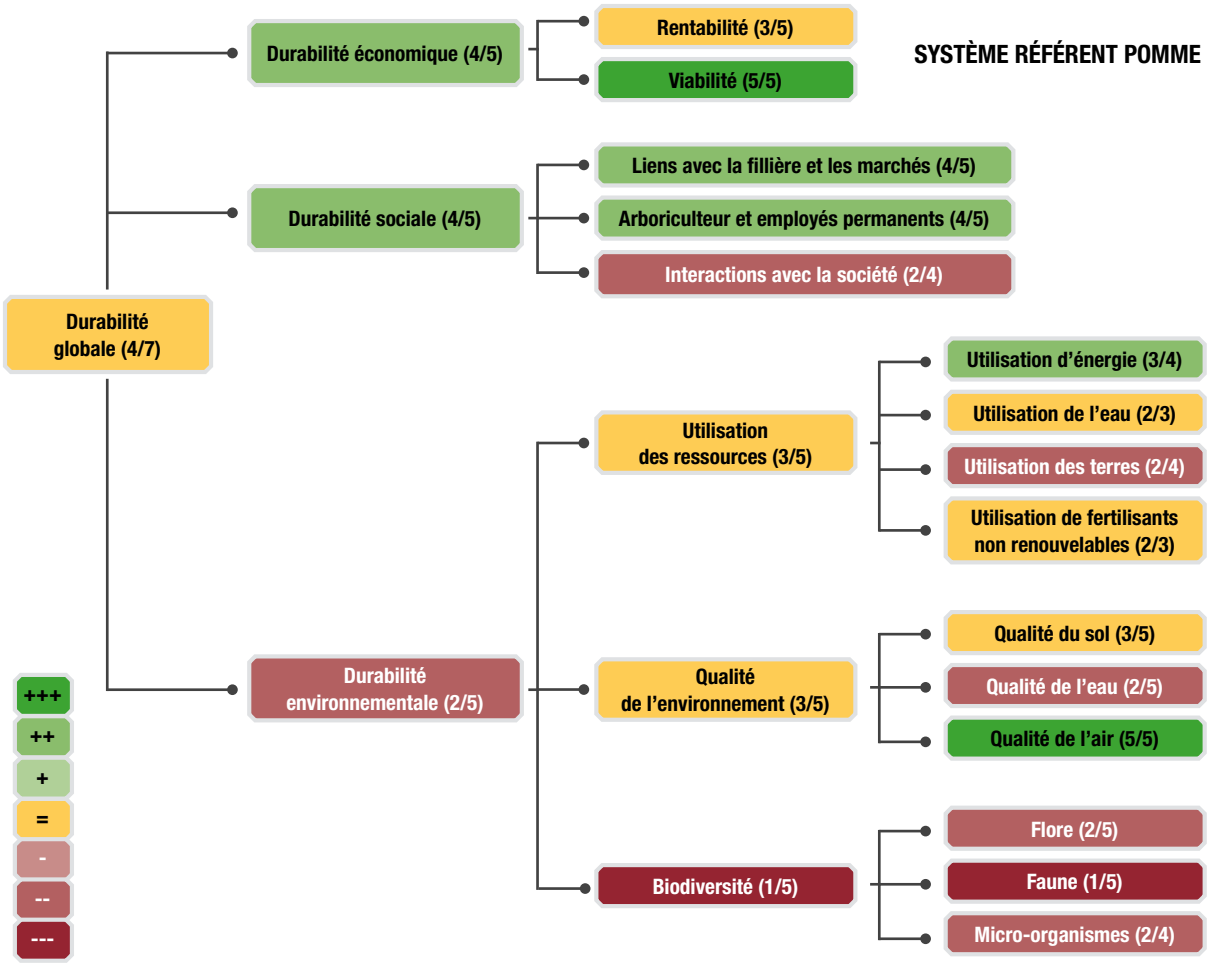
On peut choisir de ne sélectionner que certains critères d'intérêt (a minima ceux retenus lors du cadrage (Partie 1 / Diagnostic et cadrage) ou de la conception des SdC (Partie 2 / Conception).

Point de vigilance dans le cas des méthodologies avec agrégation

- Pour l'analyse, il faut regarder les critères élémentaires et leur poids dans la composition de la note globale.
- Dans le cas des méthodologies basées sur des classes, il existe des phénomènes de seuil qui aboutissent parfois à des classements différents de SdC ayant des performances très similaires (par exemple, une variation d'un point d'IFT peut faire basculer un système d'une classe vers une autre).

Figure 21 : Graphique en arbre synoptique du système de culture de référence des vergers de pommiers issu du projet BioREco (INRA Gotheron, 26), extrait de DexiFruits

La durabilité globale est obtenue par agrégation des notes des trois piliers de la durabilité, eux-mêmes issus de l'agrégation de différents critères sélectionnés. Le système référent pomme est moyennement durable (4/7). Il est bien noté en termes de durabilité économique et sociale (4/5), et mal noté en durabilité environnementale (2/5). En descendant dans l'arbre, la biodiversité (1/5) est faible, pénalisée par la biodiversité faunistique (1/5).



3. Evolution du système de culture testé

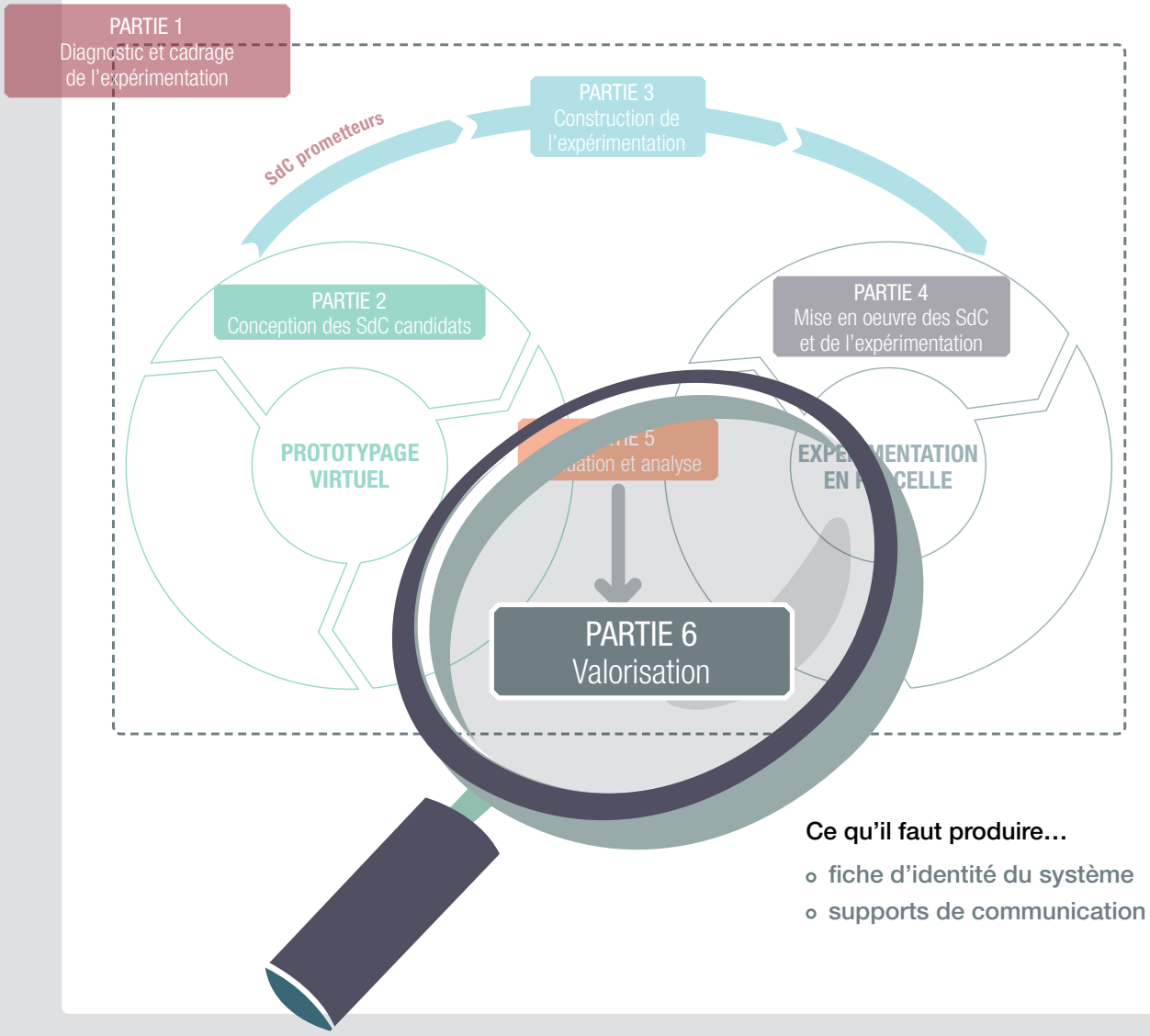
Les quatre types d'évaluation développés dans ce guide peuvent être à l'origine de l'ajustement des RdD (Partie 4 / Mise en œuvre pratique). En général, cela n'implique pas un changement de système de culture.

Dans certains cas, cet ajustement ne suffit pas à atteindre les objectifs. Il faudra alors modifier les stratégies ou, en dernier recours, revoir les attentes et les objectifs. Le nouveau système issu de l'ajustement est considéré comme un autre système, ce qui induit d'évaluer séparément l'ancien et le nouveau système. A l'issue de l'évaluation du ou des systèmes étudiés, plusieurs suites sont possibles :

- la poursuite de l'expérimentation avec un nouveau cycle sans modifications majeures
- une nouvelle phase de conception-évaluation-expérimentation
- l'arrêt de l'expérimentation.

Le rôle du comité de pilotage consiste à statuer et prendre les décisions adaptées.

Figure 22 : Etape 6 de la valorisation des expérimentations système
(adapté de la méthodologie du RMT SdCi, Deytieux *et al.*, 2012).



PARTIE 6
Valorisation des expérimentations système

La valorisation peut être réalisée dès le début de l'expérimentation système*[1] en présentant les objectifs*, la méthodologie d'expérimentation,… et tout au long du projet, au fur et à mesure de l'acquisition des résultats*.

L'expérimentation système est un outil et un espace de dialogue et d'apprentissage pour :

- les équipes expérimentales impliquées
- des publics cibles variés (expérimentateurs, agriculteurs, acteurs du développement, chercheurs, étudiants, enseignants, porteurs d'enjeux*, financeurs, grand public…) (Tableau 23, page 110).

D'une manière générale, le système testé au champ n'a pas forcément vocation à être transféré en tant que tel. Le système de culture* les stratégies de gestion*, les règles de décision*, les techniques* peuvent en effet être sources de motivation et d'inspiration pour les acteurs de la recherche – développement - formation, pour les agriculteurs …

Ce qu'il faut produire à cette étape

- **fiche d'identité du système de culture**
- **supports de communication adaptés aux destinataires et aux objectifs visés.**

1 Les mots signalés d'un * sont définis dans le glossaire, à la fin du guide.

Tableau 23 : Utilisateurs et cibles de communication potentiels des différents acquis issus de l'expérimentation système.
Les « + » représentent les degrés d'intérêt que présente un type de communication pour les utilisateurs et cibles de communication potentiels.

Type de communication	Type de support	Expérimentateurs (pilote*, praticien(s)…)	Autres expérimentateurs (pilote, praticien(s)…)	Agriculteurs extérieurs	Conseillers, acteurs du développement	Porteurs d'enjeux, financeurs	Etudiants	Chercheurs	Structure de l'expérimentateur	Grand public
Présentation synthétique du projet	Plaquette Vidéo Poster, Présentation Visite…		++	+++	++	+++	++	+	++	+++
Compte rendu annuel	Document et rapport	+++	++		++	++			(++)	
Fiche d'identité du SdC	Document, powerpoint, poster…	+++	+++	+++	+++	++(+)	+++	++(+)	+	
Témoignages du pilote pour faire partager les expériences réussies et ratées sur son SdC.	Oral, écrit, vidéo, visite…	+++	+++	+++	+++	++	++	++	+++	+
Démonstrations (techniques, protocoles, évolution des états…)	Vidéo, photographie, visite	++	+++	+++	+++	+(+)	+++	++	+	++
Articles de vulgarisation	Presse agricole, locale, généraliste	+	++	+++	++	++	++	+	+	+++
Communications scientifiques	Revue, colloque	++	++		++	+	++	+++	(++)	
Communications techniques	Revue professionnelle, séminaire, journées techniques, formation	+++	+++	++	+++	+	++(+)	++(+)	++	(+)
Bulletin technique	Document		++	+++	+++	+(+)	+	+	+(+)	
…										



Trucs et astuces

- Si vous travaillez en collaboration avec des producteurs, il est conseillé de les faire participer à la valorisation (liste d'auteurs, participation aux rencontres et présentations…)
- Pour une bonne diffusion des résultats, il est conseillé de communiquer de manière régulière sur l'expérimentation.

Différents exemples de communication sont présentés en annexe et sur les pages internet du RMT SdCi www.systemes-de-culture-innovants.org, du GIS PIClég www.picleg.fr, du GISFruits www.gis-fruits.org, de l'IFV www.vignevin.com, d'EcophytoPIC www.ecophytopic.fr …

1. Expérimentation système, un outil et un espace de dialogue et d'apprentissage

L'expérimentation système est mise au service du développement, de la formation et de la recherche. Les acquis de l'expérimentation système sont multiples et de différentes natures. Ils concernent :

- la production de connaissances,
- l'acquisition de nouvelles compétences pour les expérimentateurs, et toutes les personnes qui gravitent autour de l'expérimentation, depuis les membres du comité de pilotage jusqu'aux agriculteurs,
- la création d'un espace de dialogue,
- la mise en évidence de trous de connaissances et la formulation de nouvelles questions de recherche.

a. L'expérimentation système, lieu de production de connaissances

La production de connaissances peut se concrétiser par :

- Une « bibliothèque d'innovations* » qui englobe de nouvelles connaissances contextualisées sur des techniques, des stratégies de gestion (dont les règles de décision), des systèmes de culture avec leurs conditions de réussite, des prototypes* de systèmes, sources de motivation et d'inspiration pour les acteurs de la recherche – développement - formation, pour les agriculteurs…
- Les résultats des évaluations* de la faisabilité technique*, des stratégies utilisées, des performances* globales du système testé, ainsi que leur analyse grâce au diagnostic agronomique* par exemple.
- Des outils de diagnostic agronomique simplifié et des indicateurs* pour conduire le système de culture à transmettre aux producteurs.

Encadré 10 : Témoignages de conseillers agricoles.

Témoignage de Vianney Estorgues, conseiller légumes des Chambres d'agriculture de Bretagne

À quoi vous sert votre expérience en expérimentation système dans votre métier de conseiller ?

« Dans un premier temps, je me suis intéressé à l'approche et à la démarche systémique en étant expert légumes dans le réseau DEPHY écophyto et en participant à la rédaction du guide pratique pour « Concevoir des systèmes de culture légumiers économes en produits phytopharmaceutiques » du GIS PIClég (Launais et al., 2014), ce qui m' a amené par la suite à être formateur en co-conception dans le cadre de la formation Certiphyto conseiller proposée par Résolia.

Malgré des demandes le plus souvent urgentes et pointues de la part des producteurs, je mets en œuvre l'approche système. Au préalable, je détermine clairement les attentes des producteurs, ce qu'ils mettent en place pour les atteindre, leur manière de prendre les décisions… Je porte un intérêt fondamental au système décisionnel de chaque producteur. Cela me permet d'avoir une approche sur la culture du chou qui prend en compte leurs propres systèmes. Mon écoute des producteurs s'est ainsi améliorée.*

Pour résumer, on pourrait dire que je fais du conseil à la carte, je fais les choses différemment selon les attentes des producteurs. Cela dit, il faut bien avoir à l'esprit que de faire évoluer sa manière de pratiquer son métier est un travail de longue haleine. »

Témoignage de Sébastien Piaud, conseiller agronomie - grandes cultures à la chambre d'agriculture de Seine-et-Marne et pilote d'un réseau d'expérimentation système

La Chambre d'agriculture de Seine-et-Marne propose des bulletins techniques (Info.Plaine production intégrée), envoyés par mail à plus de 1000 agriculteurs pour les accompagner dans une démarche de production intégrée en grandes cultures. On y trouve des conseils tactiques adaptés aux différentes situations rencontrées et des conseils stratégiques au niveau du système de culture.

Sébastien Piaud, rédacteur de ces bulletins, explique que l'expérimentation système offre une base de réflexion pour le conseil et pour l'expertise du conseiller.

Quelle est la place des résultats des expérimentations système dans les conseils qui sont donnés dans ces bulletins ? Comment les expérimentations vous ont-elles permis d'acquérir cette expertise ?

« Il n'y a pas de résultat présenté à proprement parler. Il s'agit plus de montrer qu'on a du vécu sur certaines techniques. L'expérimentation système est considérée comme un jardin pour le conseiller, qui devient « expériment'acteur ». Cela lui permet de voir ce qui marche, ce qui n'est pas cohérent. Il peut y acquérir expertise, intuition... Avoir un « jardin » permet d'être capable de raconter ce qui se passe. On peut dire ce que l'on a vu et je me sens plus à l'aise pour écrire avec ces parcelles sous la main. Par contre, il faut toujours restituer le contexte du conseil, surtout pour un document diffusé en grand nombre. »

Retrouvez des exemples de bulletins de conseil sur le site internet suivant http://www.ile-de-france.chambagri.fr/pro77/agronomie-grande-culture-infoplaine-pi (Annexe 10, page 149).

b. L'expérimentation système, lieu d'apprentissage

L'apprentissage et l'acquisition de nouvelles compétences pour l'équipe de l'expérimentation système consistent en :

- Développement de savoir-faire nouveaux, liés à la prise en compte et à la maîtrise de l'approche systémique. Il entraine une évolution des manières d'aborder les problèmes, de réaliser des diagnostics, de chercher des solutions…
- Développement de savoirs et savoir-faire, issus du vécu et de l'expérience sur le terrain, notamment sur les techniques, les RdD, les stratégies de gestion, leur faisabilité technique et leurs conditions de réussite… Ce savoir s'appuie sur des connaissances à la fois très spécialisées et généralistes sur l'ensemble du système.
- Un vécu quasi-similaire à celui des agriculteurs, grâce à la confrontation avec des prises de décisions en situations réelles, permettant à terme d'atteindre des objectifs préalablement fixés. Le conseiller « expériment'acteur » aura plus de légitimité aux yeux d'un producteur lors d'échanges et de discussions car il travaille à la même échelle que lui (Encadré 10).

De même, l'expérimentation système est un lieu d'apprentissage pour la formation initiale (Encadré 11, page 114). Il est conseillé, lorsque c'est possible, d'emmener les élèves sur une expérimentation système et de les rendre acteurs, en organisant des rencontres avec l'équipe expérimentale, en leur permettant de proposer des modes de gestion du système testé, d'évaluer les résultats et performances ou encore de réaliser des suivis et observations … il est également possible d'organiser des ateliers de conception de systèmes à partir de cas concrets. Ces ateliers nécessitent un certain nombre de connaissances. Il est conseillé de les réaliser plutôt avec des élèves en fin de cursus. Ils doivent être conduits au minimum sur une journée, voire deux. Les guides pratiques de conception de systèmes de culture économes en produits phytosanitaires (Partie 2 / Conception) peuvent être un support mobilisable.

L'expérimentation système peut être également mobilisée lors de la formation continue. Les agriculteurs peuvent être ainsi impliqués tout au long du déroulement de cette expérimentation devenant ainsi des "expériment'acteurs" (Encadré 12, page 118).

c. L'expérimentation système, espace de dialogue et d'échange

La création d'un espace de dialogue renforce les échanges au sein de l'équipe d'expérimentation, et également avec les utilisateurs et cibles de communication potentiels.

Ainsi, l'expérimentation système permet d'instaurer un dialogue, des échanges et interactions entre, par exemple :

- les membres de l'équipe expérimentale, favorisant la compréhension du fonctionnement propre de chacun des acteurs,
- des spécialistes par culture, des spécialistes thématiques, et également avec des économistes, sociologues, ergonomes, didacticiens …
- des acteurs de différents métiers (agriculteurs, conseillers, formateurs, chercheurs,…) et de différentes structures,
- …

Encadré 11 : Témoignage d'une formatrice.

Témoignage de Flora Couturier, responsable de l'expérimentation système de Tilloy-les-Mofflaines, programme « Reconception durable de 2 systèmes grandes cultures et légumiers pour une réduction d'au moins 50 % de l'utilisation de produits phytosanitaires (LEGTA du Pas-de-Calais – site d'Arras, 62)

Comment avez-vous réfléchi la conception de cette expérimentation avec les étudiants ?

« L'expérimentation a été construite avec un double objectif de pédagogie et de développement agricole. J'étais animatrice et coordinatrice. La conception a eu lieu en 2 temps :

- *le premier temps s'est déroulé sous forme d'ateliers de conception de systèmes avec des élèves (2 classes de BTS) pendant 2 jours. Ils avaient été préparés avec l'aide d'une enseignante. L'objectif de ces ateliers était purement pédagogique. Ils ont donc été réfléchis pour être très ludiques (utilisation d'ardoises, recherches documentaires libres…).*
- *le second temps est la conception réelle. Elle a eu lieu en présence de 2 délégués d'élèves, de 2 agriculteurs, d'un conseiller de la Chambre d'agriculture, d'un ingénieur recherche du Terres inovia, de l'ITB, de la FREDON, de 2 enseignants (agronomie et biologie) et d'un conseiller de GEDA.*

Lors du premier temps des ateliers, la consigne principale donnée aux élèves était « lâchez vous ! Proposez ce que « VOUS » aimeriez voir dans votre lycée. ». Les problématiques considérées étaient simplifiées par rapport à la réalité. Chaque groupe était composé de 5 à 6 élèves. La première demi-journée était dédiée à la proposition d'un nouveau système et l'après-midi à la description de ce système. La deuxième journée était dédiée à l'évaluation (guide STEPHY, choix d'indicateurs propres et pertinents au vu des éléments de cadrage), ainsi qu'à une restitution. »



Pour aller plus loin...

Des modules de formation à l'expérimentation système existent, comme :

- UVED GASCON Gestion Agro-écologiques de la santé des cultures et des organismes nuisibles, en particulier les approches expérimentales pour la gestion agro-écologiques des stress biotiques : http://www.uved.fr
- UVED sur l'expérimentation de systèmes en agrumiculture : http://www.supagro.fr/ress-tice/EcoHort/Uved/CultureAgrumicole/co/Publi_web.html dans le cadre de la formation « Co-conception de systèmes de culture à bas intrants en agrumiculture »
- …

d. L'expérimentation système, lieu de formulation de nouvelles questions de recherche

Des trous de connaissances et la formulation de nouvelles questions de recherche peuvent être mis en évidence :

- sur les modes de gestion,
- sur les interactions entre les pratiques et la vie biologique du sol,
- sur les processus biogéochimiques,
- …

Ils sont des sources d'inspiration pour les programmes de recherche, de recherche – développement à venir.

Au-delà des acquis, l'expérimentation système est un moyen de renouveler l'animation des équipes en termes d'objets discutés, de rôles et de missions. Elle peut être vectrice de modifications organisationnelles au sein des équipes (changements de positionnement de chacun, place de la discussion dans la prise de décision), et peut même fortement influencer les expérimentateurs individuellement (évolution du statut de la connaissance, pertes de repères, bouleversement possible des valeurs dans le cas de systèmes en rupture …) (Fiorelli *et al.*, 2014).

Tableau 24 : Description succincte des points à renseigner dans la fiche d'identité ainsi que quelques conseils pour la remplir (Schaub *et al.*, 2016).

Points de la fiche d'identité	Description succincte	Trucs et astuces / renvois aux parties concernées
1. Grands traits du système de culture	Résumé des principales stratégies expérimentées à l'échelle du système de culture et des itinéraires techniques à moyen et long terme, en mettant en avant les combinaisons	Cette partie est souvent rédigée à la fin. Les autres points permettent de faire ressortir facilement les traits principaux du SdC en précisant les différentes caractéristiques du système et leur logique. *Que retenir du SdC ? Que transmettre ?*
2. Origine du système testé dans l'expérimentation	Positionnement du système de culture testé par rapport aux problématiques auxquelles on a voulu répondre, dans un contexte historique, territorial et local	*Quelles sont les questions initiales auxquelles vous deviez répondre ? qui sont les commanditaires ?...*
3. Contexte	Contextes pédo-climatique, géographique, agronomique, …, associés à la parcelle de l'expérimentation : situation géographique, type de climat, type de sol, réserve utile, potentiel de rendement, aménagements, adventices... Contexte socio-économique …	Partie 1 / Diagnostic et cadrage général
4. Dispositif expérimental	Présentation du dispositif expérimental	Partie 3 / Construction de l'expérimentation
5. Objectifs assignés au système testé et attentes	i. Objectifs : Présentation des enjeux, des problématiques auxquelles on répond et des objectifs du système de culture	Partie 2 / Conception de prototypes de SdC
	ii. Déclinaison des objectifs en attentes du responsable de l'expérimentation (qui porte celles du commanditaire)	Partie 2 / Conception de prototypes de SdC
	iii. Déclinaison des objectifs en attentes du pilote. Ce sont les indicateurs suivis par le pilote permettant de voir si les adventices, les maladies, ravageurs sont maitrisés, si l'alimentation en eau, en azote d'une culture est satisfaisante… de son point de vue	Partie 2 / Conception de prototypes de SdC
6. Stratégies de gestion	Schémas* issus du système décisionnel du système de culture	Partie 2 / Conception de prototypes de SdC
7. Système pratiqué ou « synthétisé »	Synthèse des interventions et des rendements réalisés durant l'expérimentation	Partie 4 / Mise en œuvre pratique des SdC
8. Résultats et performances obtenus	i. Résultats agronomiques (état des cultures, problèmes sanitaires et du sol…) et techniques (rendement, qualité…) obtenus, réussite selon le pilote du système de culture (satisfaction des attentes du pilote)	*Les résultats obtenus sont-ils conformes aux attentes ? Suis-je satisfait ? Pourquoi ?* Partie 5 / Evaluation et analyse
	ii. Performances du système, explicitées en terme de satisfaction des attentes des commanditaires, ces attentes étant portées par le responsable d'expérimentation	
	iii. Performances de durabilité* du système, souvent concrétisées par l'utilisation d'une méthode d'évaluation multicritère*	
9. Enseignements Pistes d'amélioration du système et perspectives	Enseignements et apprentissages acquis pour la conduite du système dans la durée pour favoriser la transmission d'une façon de produire, pour inspirer de nouvelles façons de piloter des systèmes, …	*Qu'est-ce que le pilote a appris au cours de l'expérimentation à partir de son vécu, de ses apprentissages sur le terrain (retours d'expériences sur les échecs, les réussites…), les pièges à éviter… ?*
	Perspectives d'amélioration proposées par l'équipe expérimentale, les commanditaires ou le comité de pilotage	*Qu'est-ce que l'on peut améliorer ? Comment ?*
10. Contacts	Contact du responsable de l'expérimentation, du pilote et de l'équipe expérimentale	
11. Pour en savoir plus …	Liens, références* utiles vers des articles, des témoignages, des pages internet complémentaires	
12. Le système de culture en images	Photographies, plan, film … illustrant le système testé (à des moments clés, lors de visites, …)	

2. Différentes communications, à partir de l'expérimentation système

a. Différents supports de communication, en fonction des publics et cibles

Les productions sont nombreuses au cours et à l'issue de l'expérimentation, elles vont intéresser différents publics comme présenté en Tableau 23, page 110.

b. Fiche d'identité du SdC

La fiche d'identité du système de culture est un outil de synthèse utilisé pour décrire, communiquer et diffuser des systèmes de culture. Elle peut être rédigée dès la mise en place de l'expérimentation.

Pour les expérimentateurs, cette fiche permet de réaliser une synthèse partagée, un bilan de leur expérience commune.

Pour les autres destinataires potentiels, cette fiche permet de comprendre l'expérimentation, les systèmes de culture testés et de présenter les résultats obtenus.

Cette fiche d'identité comporte 12 points à renseigner (Tableau 24).

Un exemple complet de fiche d'identité est présenté en Annexe 11 (page 151).

Encadré 12 : Intérêts des expérimentations "systèmes" pour les agriculteurs "expériment'acteurs".

Intérêts d'une expérimentation système du point de vue de l'agriculteur « expériment'acteur »

- Un accompagnement privilégié (conseil à la carte, formations…),
- La participation active à des ateliers de co-conception de systèmes de culture sur des problématiques qui l'intéresse,
- La possibilité de résolution de certains de ses problèmes techniques via l'expérimentation,
- …

… Un engagement sur le long terme

- Qui nécessite une réelle motivation des agriculteurs impliqués dans le projet,
- Dont la réussite passe par le partage d'objectifs communs,
- Basé sur une confiance réciproque.

Trucs et astuces

- Il est conseillé de mettre en co-auteur et/ou de remercier les agriculteurs partenaires du projet dans les publications traitant de l'expérimentation.

3. Expérimentation système pour accompagner les changements de pratiques

Actuellement, les acteurs impliqués dans des expérimentations système sont peu nombreux. Pour élargir l'audience de ces travaux et résultats, il convient de mobiliser un plus grand nombre d'expérimentateurs et de conseillers d'organismes professionnels agricoles … non encore ou peu impliqués dans des expérimentations système.

Au préalable, il est important de connaître et maîtriser l'approche système. Quelques formations existent déjà comme la formation « Conseiller demain en agronomie » (Résolia), la formation de La Rochelle « Mettre en œuvre des systèmes de culture intégrés et innovants* : autonomes, économes et respectueux » (Résolia), la formation « Expérimentations – système de culture : de la conception à l'évaluation, et à la valorisation » du RMT SdCi, les journées thématiques annuelles du GIS PICLég, les ateliers de conception de systèmes de culture …

Pour accompagner les changements de pratique, il s'agit de sensibiliser, idéalement de former et d'impliquer les acteurs extérieurs à l'expérimentation système (conseillers, animateurs, … en productions végétales).

Ceci pourra se concrétiser par exemple :

- par des réalisations de suivis, observations et mesures, des tours de plaine à des moments clés de la campagne sur une expérimentation système,
- par les participations à l'analyse des résultats et performances d'une expérimentation système en collectif,
- par les mises en pratique de l'approche système avec des producteurs,
- en mobilisant les fiches d'identité au niveau du système de culture, des règles de décision, des itinéraires techniques, des techniques
- en mobilisant des témoignages du pilote ou autres …
- par les ateliers de conception de systèmes,
- par les groupes d'échanges de pratiques entre conseillers et animateurs en productions végétales pour développer le conseil systémique (Cerf *et al.*, 2012, Cerf *et al.*, 2013).
- ….

LISTE DES FIGURES, ENCADRÉS, TABLEAUX

Figure 1 : Représentation schématique d'un système de production considéré comme la résultante de l'interaction entre trois sous-systèmes....page 16

Figure 2 : La démarche systémique appliquée à l'expérimentation en 6 étapes ....page 26

Figure 3 : Les actions à mener et les "rôles" à tenir au cours de la démarche d'expérimentation système ....page 26

Figure 4 : Etape 1 de diagnostic et cadrage de l'expérimentation système....page 30

Figure 5 : Représentation des étapes permettant d'aboutir à un bon cadrage de l'expérimentation ....page 36

Figure 6 : Gouvernance et mise en œuvre de la démarche d'expérimentation système, du cadrage à la valorisation, avec les principales actions....page 38

Figure 7 : Etape 2 de conception de prototypes de systèmes à tester en expérimentation système ....page 40

Figure 8 : Les 5 rôles à jouer dans un atelier de conception....page 46

Figure 9 : Formalisme en schéma du système décisionnel....page 48

Figure 10 : Schéma décisionnel de maîtrise de l'alimentation azotée du SdC Grandes cultures biologique de Kerguéhennec....page 54

Figure 11 : Schéma décisionnel de maîtrise des ravageurs du système pêcher "Econome 1", DEPHY EXPE Ecopêche ....page 55

Figure 12 : Etape 3 de construction de l'expérimentation système....page 56

Figure 13 : Plan du dispositif de l'expérimentation système" VERTICAL (verger et cultures assolées) mis en place sur la plateforme TAB - DEPHY EXPE Vertical Innover et diversifier pour des systèmes de culture plus performants et plus autonomes....page 58

Figure 14 : Exemple de dispositifs expérimentaux permettant de tester 3 systèmes de culture en intégrant différents types de répétitions (spatiales et/ou temporelles)....page 68

Figure 15 : Schéma décisionnel de maîtrise des adventices du SdC légumier 50 du Pôle Légume Région Nord....page 72

Figure 16 : Etape 4 de mise en œuvre de l'expérimentation système....page 84

Figure 17 : Etape 5 d'évaluation et d'analyse de l'expérimentation système ....page 90

Figure 18 : Les différentes évaluations possibles à partir d'une expérimentation système....page 90

Figure 19 : Démarche d'évaluation multicritère....page 100

Figure 20 : Graphique en radar issu de l'expérimentation système BioREco....page 104

Figure 21 : Graphique en arbre synoptique du système de culture de référence des vergers de pommiers issu du projet BioREco ....page 106

Figure 22 : Etape 6 de la valorisation des expérimentations système ....page 108

Encadré 1 : Exemple d'enjeu, de problématique et d'objectif dans le domaine de la viticulture....page 32

Encadré 2 : Exemple de diagnostic et cadrage appliqué à la filière pêche française dans le cadre de DEPHY EXPE ECOPECHE ....page 34

Encadré 3 : Formalisme d'une RdD....page 52

Encadré 4 : Parole d'expérimentateur "Pourquoi un SdC de référence" ?....page 66

Encadré 5 : Exemple d'une RdD formalisée selon le formalisme de Henry *et al.* (2012) issue des RdD de l'expérimentation Breizleg - DEPHY EXPE ....page 74

Encadré 6 : Parole d'expérimentateur : difficultés à formaliser précisément les règles de décision ....page 74

Encadré 7 : Des exemples d'observations et de mesures réalisées pour différents rôles ou utilisations ..... page 76
Encadré 8 : Exemples de protocole de mesures ..... page 80
Encadré 9 : Recommandations pour le pilotage d'une expérimentation système ..... page 88
Encadré 10 : Témoignages de conseillers agricoles ..... page 112
Encadré 11 : Témoignage d'une formatrice ..... page 114
Encadré 12 : Intérêts des expérimentations système pour les agriculteurs «expériment'acteurs» ..... page 118

Tableau 1 : Exemples de problématiques auxquelles peuvent répondre l es essais factoriels et les expérimentations système ..... page 22
Tableau 2 : Principales caractéristiques des essais factoriels et des expérimentations système : deux approches expérimentales bien distinctes et complémentaires ..... page 24
Tableau 3 : Les différentes actions à mener durant une expérimentation système ..... page 28
Tableau 4 : Eléments des contextes de production ..... page 32
Tableau 5 : Exemples d'attentes pour la conception ..... page 42
Tableau 6 : Mise en pratique des ateliers de conception ..... page 48
Tableau 7 : Liste de quelques outils de caractérisation et d'évaluation multicritère *ex ante* des performances de durabilité pour chacune des filières ..... page 50
Tableau 8 : Formalisme en tableau du système décisionnel de maîtrise de l'alimentation azotée du SdC Grandes cultures biologique de Kerguéhennec DEPHY EXPE Systèmes "Grandes Cultures" économes en intrants (de l'intégré au biologique) en Bretagne ..... page 52
Tableau 9 : Intérêts des combinaisons entre nombre de prototypes et de sites ..... page 59
Tableau 10 : Eléments pour choisir le type de sites de l'expérimentation ..... page 60
Tableau 11 : Avantages et inconvénients de différents types de systèmes de culture de références retenus ..... page 64
Tableau 12 : Prise en compte de différents effets selon les types de répétitions ..... page 68
Tableau 13 : Eléments à définir dans le dispositif expérimental ..... page 71
Tableau 14 : Exemples de données à collecter en fonction de leurs utilisations. ..... page 76
Tableau 15 : Exemples de données à collecter dans une expérimentation système ..... page 78
Tableau 16 : Principales activités et acteurs permettant la mise en œuvre de l'expérimentation système ..... page 86
Tableau 17 : Exemple du SdC « pratiqué » obtenu sur l'expérimentation de Rouffach (2010-2012) ..... page 92
Tableau 18 : Trois exemples d'évaluation de la faisabilité technique ..... page 94
Tableau 19 : Satisfaction du pilote sur les résultats techniques en 2010 ..... page 96
Tableau 20 : Exemple de résultats agronomiques ..... page 96
Tableau 21 : Exemple de présentation d'un diagnostic agronomique ..... page 98
Tableau 22 : Exemples de méthodes disponibles pour réaliser les évaluations de durabilité à l'échelle du système de culture ..... page 102
Tableau 23 : Utilisateurs et cibles de communication potentiels des différents acquis issus de l'expérimentation système. ..... page 110
Tableau 24 : Description succincte des points à renseigner dans la fiche d'identité ainsi que quelques conseils pour la remplir ..... page 116

ANNEXES du guide de l'expérimentateur



Liste des annexes

ANNEXE 1
Identification et formalisation d'enjeux à partir d'un état des lieux réalisé par les acteurs identifiés comme compétents sur la question de la production cotonnière en Afrique subsaharienne **127**

ANNEXE 2
Exemples d'outils d'évaluation multicritère *ex ante* disponibles, leurs forces et leurs faiblesses **131**

ANNEXE 3
Exemple de tableau de renseignement des caractéristiques parcellaires **133**

ANNEXE 4
Exemple d'observation, de mesure et d'enregistrement **135**

ANNEXE 5
Aide au choix des références **137**

ANNEXE 6
Exemples d'évolution au cours du temps d'une RdD **139**

ANNEXE 7
Exemples de ressources pour aider au choix des données à collecter **141**

ANNEXE 8
Exemples d'évaluation réalisée sur des données cumulées **143**

ANNEXE 9
Exemple de construction d'une méthode d'évaluation multicritère *ad hoc* **145**

ANNEXE 10
Extraits du bulletin technique « Info.plaine Production Intégrée » **149**

ANNEXE 11
Fiche d'identité du système de culture DEMIGNY **151**

Annexe 1

Identification et formalisation d'enjeux à partir d'un état des lieux réalisé par les acteurs identifiés comme compétents sur la question de la production cotonnière en Afrique subsaharienne (adapté des travaux de Lançon *et al.* 2007).

Préalable : contexte

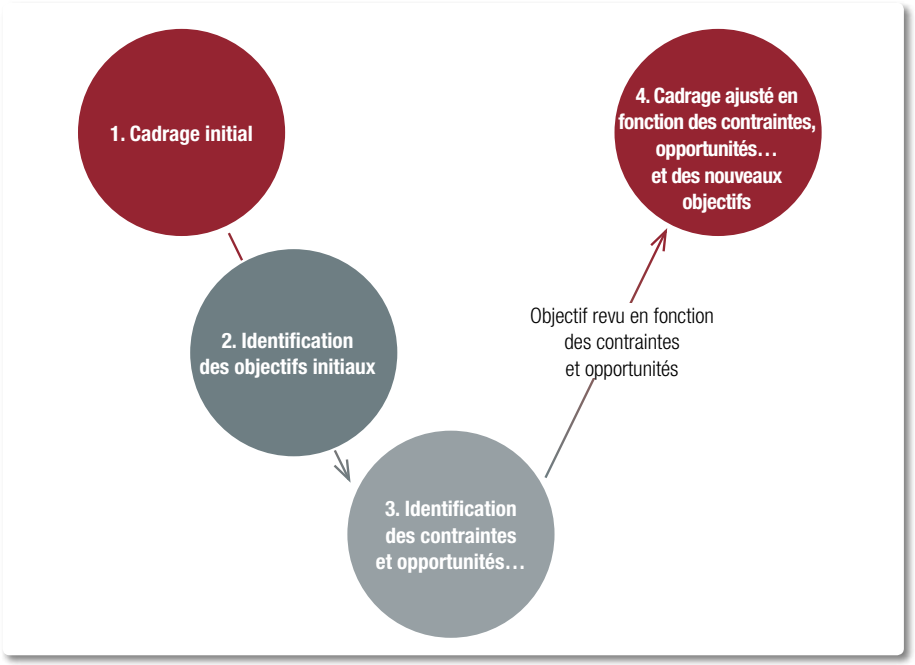
Biophysiques	Socio-économiques	Socio-culturels
Sols ferrugineux rouges, à dominance sableux, acides	Circuit de commercialisation intégré et export	Priorité aux cultures vivrières, si pic de travail
Zone soudano-sahélienne	Main d'œuvre limitée : concurrence entre cultures vivrières et coton	Pas de mécanisation des cultures
Une seule saison des pluies (mai à octobre)	Vente sécurisée : prix fixé à l'avance (annuel)	
2 insectes piqueurs-suceurs et 2 chenilles de la capsule	Coton pour la vente, seule source de revenu Cultures vivrières d'auto-consommation	
Pluviométrie hétérogène	Critères de qualité à respecter (longueur, couleur, propreté de la fibre)	
	Intrants accessibles, mais chers	
	Culture du coton encouragée par les Etats, source de devises	
	Forte fluctuation des prix mondiaux (interannuels)	

Etat des lieux global de la production de coton en Afrique de l'ouest : contexte général

La culture du coton située dans la zone soudano-sahélienne des pays d'Afrique de l'ouest a été très fortement encouragée. Elle est une source de revenus indispensable et un réel moteur de développement pour les producteurs. Aujourd'hui, elle est difficilement remplaçable par une autre culture de vente.
La viabilité économique et financière des filières cotonnières africaines est menacée par les fluctuations fréquentes et de grandes amplitudes des prix mondiaux. Il est donc nécessaire pour les pays africains de gagner en productivité et en compétitivité dans une approche de durabilité.
La productivité semble limitée par des recommandations culturales identiques, dans les différentes régions productrices malgré la grande diversité des situations rencontrées. Il apparait donc nécessaire de mieux les adapter à chaque situation. La culture de coton a de plus une image de grande consommatrice de produits phytosanitaires.

Etat des lieux de la production de coton dans la zone soudano-sahélienne : contexte local

La production de coton est caractérisée par une seule saison des pluies. Le coton et les cultures vivrières assolées au sein des petites exploitations agricoles familiales sont exclusivement produits en condition pluviale stricte. Toutes ces productions sont donc caractérisées par d'importantes fluctuations des volumes et des rendements liées aux aléas pluviométriques. La sécurité alimentaire constitue dans ces zones le principal moteur de décisions prises par les agriculteurs, concernant leur assolement et le calendrier de mise en place des différentes cultures.
Le coton représente l'essentiel des revenus de ces exploitations agricoles, qui pour beaucoup ne disposent pas d'équipements autres que des outils manuels. La culture de coton constitue ainsi le principal moteur de la modernisation de l'agriculture et de la lutte contre la pauvreté.



1 - Cadrage initial, avec identification des enjeux et des problématiques

Enjeux	Problématique
A - Satisfaction du producteur par rapport à la rentabilité économique de l'exploitation sur le long terme permettant un niveau de vie correct de l'agriculteur et de sa famille.	Comment mieux gérer la ressource en eau de manière à garantir une rentabilité de la culture de coton suffisante pour le producteur ?
B - Production pour assurer les besoins en qualité (longueur, couleur, propreté) des acteurs des systèmes industriels.	Comment obtenir une qualité de fibre suffisante pour l'exportation dans ce contexte de production ?
C - Production durable (volet environnemental)	Comment produire du coton en limitant son impact sur l'environnement lorsque l'on sème tardivement ?

2 - Identification des objectifs initiaux

Jeux de contraintes / Contraintes principales	sur le sous-système biophysique	sur le sous-système technique
1. Pluviosité irrégulière	- Saison agricole très courte - Stress hydrique	
2. Fertilité des sols faible, du fait du manque de disponibilité en terres agricoles	- Pression en adventices	- Pas de jachère - Rotation rapide
3. Pluviosité et humidité élevées	- Forte pression de bioagresseurs spécifiques - Deux périodes de forte pluviosité	- Manque de traction animale
4. Contexte économique risqué		- Secteur peu organisé - Agriculteurs recherchant des niveaux limités d'investissement
5. Disponibilité des terres		- Pas d'accès facile à du capital pour investir (achat de terres, matériel …) - Pas ou peu d'élevage possible

3 - Identification des atouts, contraintes, menaces et opportunités associés

Atouts	Contraintes
Culture de coton, source de revenus indispensable pour les producteurs.	Semis du coton souvent réalisés plus tardivement, en raison de la priorité donnée aux cultures vivrières, avec une pluviosité réduite au final qui ne permet pas d'atteindre le potentiel de rendement.
Réel moteur de développement.	Principaux prédateurs : 2 insectes piqueurs-suceurs et 2 chenilles de la capsule
Intrants facilement disponibles.	Rendement en fibre de bonne qualité.
Vente de la production brute sécurisée	
Menaces	**Opportunités**
Forte limitation du niveau de production, en raison de recommandations culturales non adaptées aux contraintes climatiques	Possibilité de construire de nouveaux itinéraires techniques plus adaptés aux conditions de production compte tenu des contraintes identifiées.
Pics de mains d'œuvre au semis et à la récolte.	



Annexe 2

Exemples d'outils d'évaluation multicritère *ex ante* disponibles, leurs forces et leurs faiblesses.

Outils	Filières	Objectif principal	Méthode	Forces	Faiblesses
DEXiPM	grande culture[1], viticulture, arboriculture, légumes en sol	Evaluer la durabilité de systèmes de culture basés sur la protection intégrée	Méthode d'évaluation multicritère par agrégation de données qualitatives, basée sur l'outil DEXi[2]	- Adaptations régionales, locales possibles[3], par la prise en compte des préférences des acteurs dans l'agrégation des critères - Evaluation des critères sociaux et de biodiversité assez bien développée	- Mise en œuvre nécessitant une appropriation et une formation - Manque de sensibilité parfois pour discriminer des systèmes proches
MASC 2.0[4]	grande culture	Evaluer la durabilité de systèmes de culture	Méthode d'évaluation multicritère par agrégation de données quantitatives et qualitatives, basée sur l'outil DEXi	- Adaptations régionales, locales possibles par la prise en compte des préférences des acteurs dans l'agrégation des critères	- Peu adapté à l'évaluation *a priori* de systèmes de culture
PerSyst[5]	grande culture	Estimer les conséquences sur les rendements et l'environnement des modes de conduite des cultures et des successions culturales	Modèle agronomique dynamique à pas de temps annuel qui rend compte de l'effet de la succession de cultures et des itinéraires techniques de chaque culture sur les performances agronomiques (rendement), environnementales (émissions d'azote INO_3 dans les eaux, INH_3 et IN_2O dans l'air, IFT) et économiques (marges brutes) des systèmes de culture	- Estimation des rendements des cultures avec prise en compte de l'échelle du système de culture - Paramétrage local - Description rapide des systèmes à évaluer - Prise en compte des types de sols et de la variabilité climatique sur les sorties environnementales	- Paramétrage uniquement disponible en Eure-et-Loir, Bourgogne, entamé en Poitou-Charentes et Champagne-Ardennes, en Ile de France, Picardie (uniquement en AB) - Prise en compte de la variabilité climatique à améliorer.
...					

1 Pelzer *et al.*, 2012
2 Bohanec *et al.*, 2008
3 Craheix *et al.*, 2015
4 Craheix *et al.*, 2012
5 Guichard *et al.*, 2013

Annexe 3

Exemple de tableau de renseignement des caractéristiques parcellaires (issu du RMT SdCi)

Cette fiche est à adapter à votre expérimentation et à ses objectifs. Les données peuvent être renseignées « à dires d'experts ».

Un modèle de fiche est disponible sur les sites des partenaires : www.picleg.fr, www.gis-fruits.org, www.vignevin.com, www.systemes-de-culture-innovants.org.

		Commentaires
Météorologie		
Précipitations mensuelles cumul moyen sur 20 ans en mm		
Températures mensuelles moyennes, minima et maxima annuels sur 20 ans		
ETP cumul annuel moyen sur 20 ans en mm		
Type de sol		
Texture		
Teneur P		
Teneur K		
Teneur MO		
Réserve utile		
Comportement du sol		
Vitesse de ressuyage		
Risque d'hydromorphie		
Pierrosité		
Risque de sécheresse		
Sensibilité à la battance		
Commentaires (difficulté de travail du sol, accessibilité et jours disponibles, fertilité globale, risques de stress…)		
Hétérogénéité		
Environnement et aménagements (haies, bandes enherbées, rivière, forêt…)		
Distance par rapport à un cours d'eau, à la mer…		
Equipements (drainage, irrigation…)		
Taille des parcelles		
Distance par rapport au lieu de travail		
Faits marquants sur les 10 dernières années pouvant influencer les potentialités du milieu et la gestion des bioagresseurs sur l'expérimentation		
Apport de fumier		
Retournement de prairie		
Historiques différents sur différentes parties de la parcelle		
Impasse prolongée de fertilisation PK		
Episodes d'inondations ou érosion		
Tassements		
Fort salissement, flore, niveau de risque actuel		
Pression maladies, ravageurs, adventices…		



Annexe 4

Exemple d'observation, de mesure et d'enregistrement.

Observations, mesures et enregistrements réalisés sur les SdC bas intrants et raisonné de l'expérimentation de systèmes légumiers du site du CATE - DEPHY EXPE Breizleg (CERAFEL, 22 & 29) pour piloter la gestion des adventices.

Description du dispositif

- Deux sites expérimentaux : la station expérimentale du Caté (29) pour les systèmes de culture conduits en conventionnel et la station expérimentale Terre d'essais (22) pour les systèmes conduits en agriculture biologique,
- 8 systèmes de culture testés : en conventionnel, 2 systèmes raisonnés (SdC de référence) et 2 systèmes -50 % d'intrants (par rapport au raisonné), ainsi que 2 systèmes bas intrants et 2 systèmes « 0 » intrants phytosanitaires en agriculture biologique,
- Parcelles de 500 à 600 m^2,
- 2 répétitions temporelles par système de culture,
- période de 2012 à 2017.

Les objectifs principaux de ces systèmes sont :

- **Pour le système raisonné** : Etre représentatif des « pratiques producteurs » de la région,
- **Pour le système -50 % intrants** : Produire autant qu'en raisonné tout en diminuant les intrants phytosanitaires de 50 % par rapport à cette référence.

Chou-fleur (CF) de mars – plantation 30/07/2015

SdC -50% intrants

Binage kress prévu à J+15 : non réalisé car mauvaises conditions (146 mm de pluie en août)

Désherbage de rattrapage : Lentagran à 1,5 kg/ha le 7/09/15 car la surface recouverte par les adventices est > 20%.
IFT : 0,75

Binage le 7/09/15 car la surface recouverte par les adventices est > 5%.

Le 15/09/15 : Qualité des interventions : **Salissement acceptable sur la zone bas intrants.**

Maîtrise des adventices

Attentes du pilote sur CF :
- Pas d'impact sur le rendement
- Utilisation minimale de la binette
- Ne doit pas gêner la récolte
- **CF** : Période binage : salissement < à 5 %



SdC raisonné

Désherbage : Butisan 1 L/ha + Centium 0,2 L/ha le 3/08/15
IFT = 1,3

Binage le 11/09/15 car la surface recouverte par les adventices est > 5 %.

Maîtrise des adventices

Attentes du pilote sur CF :
- Pas d'impact sur le rendement
- Utilisation minimale de la binette
- Ne doit pas gêner la récolte
- **CF** < 20-30 % de la surface recouverte à la récolte
- **CF** : Période binage : salissement < à 5 %

Annexe 5

Aide au choix des références (Deytieux V. *et al.*, 2016 ; Deytieux, 2017)

Une réflexion sur les besoins et utilisations de références en expérimentation système a été conduite dans le cadre du réseau expérimental du RMT Systèmes de culture innovants. Elle distingue les valeurs de référence et les systèmes de culture de référence. Une aide au choix des références a été proposée en fonction des utilisations envisagées, basée sur des critères de pertinence et des critères de faisabilité de mise en œuvre ou de facilité d'accès aux données. Cette aide au choix est synthétisée ci-dessous sous la forme de 2 tableaux.

Quatre grands types d'activité nécessitent d'avoir recours à des références : décrire le contexte ou le système de culture testé, comprendre et analyser le système, l'évaluer, communiquer sur l'expérimentation et le système.

Certains critères sont nécessaires à considérer dans le choix des références :

- le domaine de validité des références utilisées, en tenant compte à la fois du contexte dans lequel elles ont été obtenues et de la période temporelle sur laquelle les références ont été établies,
- l'accès à des données sur les stratégies de gestion des systèmes de référence utilisés,
- l'accès à des données pour évaluer les performances selon les mêmes méthodes de calcul,
- la représentativité de la référence en termes de réalité agricole.

En fonction de l'activité exercée sur l'expérimentation, et des besoins de références associés, ou de l'étape de l'expérimentation, la hiérarchisation de ces critères peut varier comme présenté dans le tableau ci-dessous.

Importance des critères pour choisir les références		**Activités en expérimentation système**				
		Décrire		**Comprendre et analyser**	**Evaluer les performances**	**Communiquer**
		le contexte	**le système expérimenté**			
Domaine de validité	Situation de production	++	-	++	Pas nécessaire à ++ (selon objectifs)	+
	Période temporelle	-/+	-	++	Pas nécessaire (si on évalue une trajectoire) à ++	+
Données de stratégie de gestion		+	++	+	+	+
Données pour la caractérisation de performances		+	-	+	++	+
Représentation d'une réalité agricole		++	+	-	+	++

Légende : L'importance des critères à respecter pour le choix des références à utiliser en expérimentation système en fonction des activités conduites peut être de moindre (-) à très grande (++) en fonction des activités.

Outre des critères de pertinence par rapport à l'utilisation envisagée, des critères de faisabilité permettent également d'aider au choix des références :

- le temps nécessaire à la collecte de données ou à la mise en œuvre d'une méthode
- la prise en compte d'une variabilité de pratiques à travers la référence
- le risque d'un biais expérimental
- le risque d'un biais lié au recours à l'expertise

Les principales références présentées dans le guide sont analysées au regard de tous ces critères dans le tableau ci-dessous, qui fait une analyse critique des types de référence (valeurs de référence ou système de référence) utilisables en expérimentation système.

		Réglementation, norme	Enquêtes de pratiques ; références régionales et locales	SdC historique	SdC à dires d'experts	SdC d'un producteur	SdC conduit par le pilote
		Valeurs de référence		**Système de référence**			
A. Critères de pertinence							
Domaine de validité	Situation de production	-	-/+	++	++	++	++
	Période temporelle	-	-/+	--	-/+[1] à ++	++	++
Eléments de stratégie de gestion		-	-/+	++	++	++	++
Existence de données pour la caractérisation de performances		-	-/+	++	++	++	++
Représentation d'une réalité agricole		-	++	-/+	++	-/+	-/+
B. Critères de faisabilité							
Temps de collecte des données/de mise en œuvre		++	-/+	+	+	-	-
Prise en compte d'une diversité de pratiques		-	- à ++[2]	--	+	--	--
Limitation du risque de biais expérimental		++	- à ++ [2]	++	++	-	-
Limitation du risque de biais de l'expertise		++	++	++	--	++	+

Légende : Pour une référence donnée, le critère est plus ou moins respecté (de manière très insuffisante (--) à très satisfaisante (++)).

1 ++ si le système de référence est conçu sur la même période temporelle que le système testé ; -/+ dans les autres cas.
2 selon le niveau de précision de l'enquête.

Annexe 6

Exemples d'évolution au cours du temps d'une RdD

RdD formalisée mais imprécise posant des difficultés à la mise en œuvre (les imprécisions sont relevées en bleu)

Objectif : Maîtrise des pucerons sur poivrons sous tunnel en Agriculture Biologique, en contexte méditerranéen.

Attente et Critère d'évaluation 1 : Attente non spécifiée.

Critère d'évaluation : population de pucerons satisfaisante tout au long de la culture. Population d'auxiliaires suffisante pour maîtriser les populations de pucerons : satisfaction établie par expertise.

Solution : **Si** présence de pucerons, **alors** retrait mécanique des premiers pucerons. **Si** malgré l'élimination mécanique, on observe de nouveaux foyers la semaine suivante dans le tunnel, **alors** lâcher des auxiliaires de type x en fonction du type y de pucerons sur l'ensemble du tunnel ; lâcher fractionné en 2 fois pour augmenter les chances d'installation et de concentration sur les foyers. **Si** pas de présence de momies deux comptages après le lâcher (2 semaines plus tard), **alors** traitement au savon noir.

1. Qu'est-ce qu'un foyer concrètement : x nombre d'individu / plante ? x plantes hôtes consécutives ?
2. Les espèces d'auxiliaires lâchées ne sont pas précisées.
3. On ne précise pas quelle est l'intervalle de temps entre 2 lâchers.

Testée sur le terrain, cette RdD a été difficile à mettre en œuvre car imprécise.

Et la solution remplaçante :

Si, présence de pucerons concentrés, encore en effectifs modérés (plusieurs pucerons à plusieurs endroits mais non concentrés) et population d'auxiliaires faible (larves de syrphes, chrysope, *Aphidoletes aphidimyza*), **alors** retrait mécanique des premiers pucerons, des organes touchés ou de la plante entière.

Si, malgré l'élimination mécanique, de nouveaux foyers sont observés la semaine suivante dans le tunnel et si le parasitisme (suivi des momies de pucerons) et la prédation (suivi des évolutions des populations de pucerons et d'auxiliaires) sont jugés insuffisants, **alors** procéder à un lâcher (*Aphidius colemani, A. ervi, Aphelinus abdominali*s – selon l'espèce de pucerons) sur les foyers, fractionnés en deux fois à sept jours d'intervalle pour augmenter les chances d'installation.

Si le parasitisme et la prédation sont jugés insuffisants sept à dix jours après le deuxième lâcher, **alors** traitement au savon noir.

Les observations sont rapides (environ 20 min pour 400 m²) et réalisées hebdomadairement. Elles permettent de noter grossièrement la pression puceron et les populations d'auxiliaires à l'échelle du tunnel, pour estimer la population de chacun, on donne une note de 0 à 3. L'évolution des populations est décrite d'une semaine à l'autre (en hausse, stable, en baisse). Les foyers sont positionnés sur un plan du tunnel.

Cet exemple est issu de l'expérimentation système en place sur le site d'Alenya de l'Inra. Il n'y a pas de seuils déterminés par les expérimentateurs pour déclencher telle ou telle intervention. Les suivis prévus sont réalisés et les décisions sont prises grâce à l'expertise des expérimentateurs concernant les équilibres ravageurs/auxiliaires, ainsi que la dynamique de cet équilibre.



Annexe 7

Exemples de ressources pour aider au choix des données à collecter.

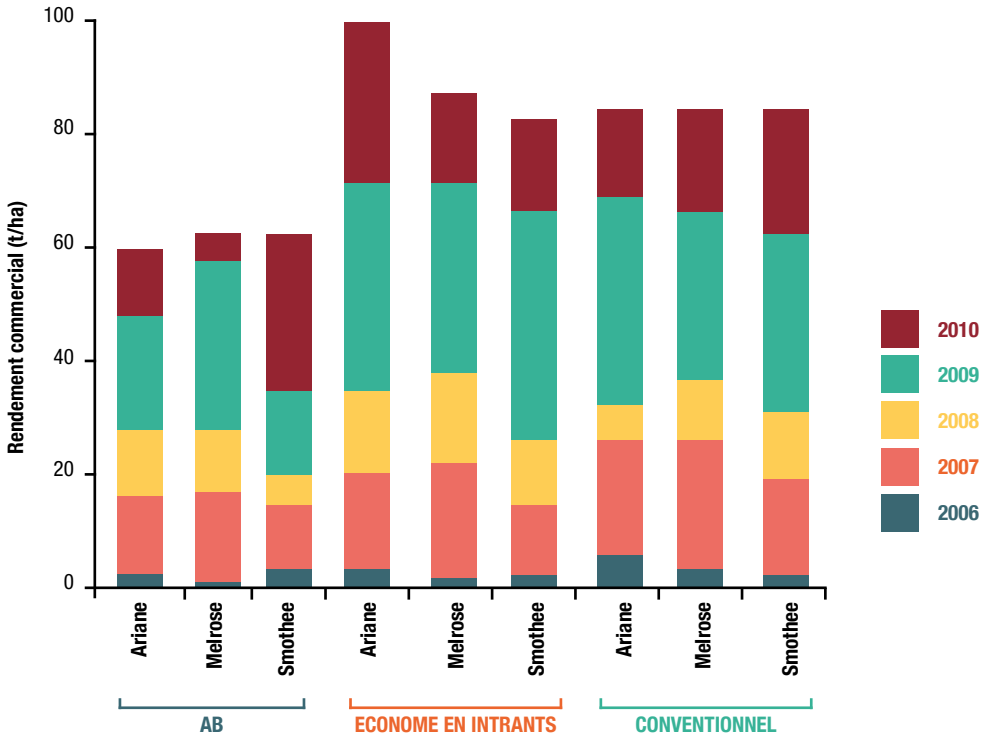
Thématique	Filières	Outils Indicateurs	Type d'informations données	Liens Personnes ou projet ressources
Structure du sol	Toutes	Profil cultural		Guide méthodique du profil cultural (Gautronneau & Manichon, 1987) www.supagro.fr/ress-pepites/PlantesdeCouverture/res/guide_manichon.pdf
Fertilité	Toutes	Boite à outil fertilité		www.itab.asso.fr/downloads/jtgc2011/jtgc2011poster-rotab-bao.pdf
Fertilité	Toutes	Test bêche simplifié	Structure du sol	www.itab.asso.fr/downloads/solab/fiche-solab-beche.pdf (vidéo : vimeo.com/49760169)
Fertilité	Toutes	Test d'infiltrométrie simplifié (Beerkan)	Capacité d'infiltration d'un sol	www.itab.asso.fr/downloads/solab/fiche-solab-beerkan.pdf
Fertilité biologique des sols	Toutes	Activité biologique et fertilité des sols	Méthodes et indicateurs disponibles	https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/ADEME-Bioindicateur/index.php www.itab.asso.fr/downloads/com-agro/acti-bio-ferti-sol-8-novembre-2002.pdf
Bioagresseurs		Boite à outil adventices	Méthodes/Protocoles/Type de données ou indicateurs de sorties …	www.itab.asso.fr/downloads/rotab/bao-adventices.pdf
Bioagresseurs		Site internet Ephytia	Eléments de diagnostic des bioagresseurs	https://ephytia.inra.fr/fr/CP/30/Cultures
Bioagresseurs		Protocoles BSV	Protocoles d'observations des bioagresseurs	
Bioagresseurs		Programme CASIMIR	Inventaire critique et orienté des protocoles existants pouvant répondre aux besoins définis. Co-conception de protocoles à plusieurs niveaux de précision, difficulté…	Coordinateur du projet : Vincent Cellier vincent.cellier@epoisses.inra.fr
Biodiversité	Arboriculture		Méthode de suivi et de diagnostic de la biodiversité dans les exploitations	Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière (Ricard *et al.*, 2012, édition CTIFL)
Biodiversité	Toutes	Indicateurs	Observatoire agricole de la biodiversité - Guide de terrain à l'attention des observateurs et animateurs	observatoire-agricole-biodiversite.fr/sites/oab.mnhn.fr/files/upload/attached/oab_guide_utilisateur_2013.pdf
Biodiversité dans les sols	Toutes	Tableau de bord d'indicateurs	Résultats du programme CASDAR Agrinnov	www.jiag.info/le-colloque/resume-colloque-2015#lundi-2-novembre-2015 www.jiag.info/le-colloque/resume-colloque-2015#mardi-3-novembre-2015



Annexe 8

Exemple d'évaluation réalisée sur des données cumulées
(Plénet *et al.*, 2010)

Sur l'expérimentation système BioREco, la dynamique d'entrée en production et la variabilité de rendement interannuelle peut être présentée par exemple ainsi :



Rendements cumulés en pomme de table dans les différents SdC testés dans l'expérimentation BioREco (Inra de Gotheron, 26). Les attentes du pilote sont d'obtenir des rendements équivalents pour les 3 types de conduite (agriculture biologique, économe en intrants, conventionnel). Les systèmes de culture économes en intrants ont des rendements équivalents à ceux obtenus en systèmes conventionnels, avec le même niveau d'alternance entre années[1], alors qu'en agriculture biologique, l'entrée en production est plus lente et les rendements généralement plus faibles. Ainsi, les attentes du pilote sont satisfaites dans les systèmes économes en intrants, contrairement aux systèmes en agriculture biologique.

1 Succession d'années de récoltes fruitières importantes et de récoltes insuffisantes, due principalement à une cause variétale et à des accidents bioclimatiques (Larousse).

Annexe 9

Exemple de construction d'une méthode d'évaluation multicritère *ad hoc*

Cet exemple est adapté de différentes évaluations multicritères réalisées sur l'expérimentation système BioREco (Inra de Gotheron, 26).

Etapes A et B : Cadrage de l'évaluation et questions préalables

En vergers de pommiers, pour réduire l'utilisation de produits phytosanitaires, trois stratégies de protection ont été conçues pour garantir une production commerciale régulière. La première est un système conventionnel visant l'efficience des intrants sans prendre de risques ; la seconde est économe en intrants, l'objectif étant de limiter les intrants en respectant les directives de l'OILB (« lutte chimique en dernier recours ») ; la troisième est conduite en agriculture biologique, les objectifs étant d'optimiser les intrants et de gérer les verrous techniques.

Au sein de chaque système, trois variétés de sensibilités différentes aux maladies et au puceron cendré ont été plantées : Smoothee (type Golden) sensible aux maladies, Melrose peu sensible et Ariane, résistante aux races communes de tavelure (Vf) jusqu'en 2012, date à laquelle le gène de résistance a été contourné. Le verger en système conventionnel avec la variété Smoothee sert de système de référence.

Dans cet exemple, l'évaluation devra permettre de :

1 - Identifier les points forts et faibles des différents systèmes de culture testés en mobilisant différents indicateurs élémentaires

2 - Classer les systèmes en se basant sur une note unique agrégée

3 - Juger de la performance globale des systèmes testés en se basant sur des critères agrégés ou non.

Etape C : Choix de la méthode d'évaluation

Pour satisfaire ces objectifs, il est intéressant de construire une méthode d'évaluation multicritère utilisant des tableaux de bord.

▸ Choix des critères d'évaluation et d'indicateurs en lien avec les enjeux

Choix des critères et indicateurs	Evaluation par rapport aux objectifs des systèmes de culture		Evaluation de la durabilité
Enjeux	Qualité de l'eau	Rentabilité économique	Volet environnemental de la durabilité
Objectifs	Réduire l'usage des produits phytosanitaires	Obtenir les rendements « potentiels »	Limiter les impacts néfastes sur l'environnement
Critère	Usage des produits phytosanitaires	Rendements	Impact environnemental par rapport aux eaux souterraines, aux eaux superficielles et à l'air
Indicateur	IFT hors Nodu-vert		I-phy arbo de la méthode Indigo® de l'Inra
Attentes	Réduction de 50 % par rapport au SdC de référence (conventionnel Smoothee).	Des rendements équivalents pour les 3 types de conduite (agriculture biologique, économe en intrants, conventionnelle)	I-phy ≥ 7

Etape D : Mise en œuvre de l'évaluation

Pour construire la méthode d'évaluation multicritère par tableau de bord, plusieurs méthodes peuvent être utilisées.

▸ Construction d'un tableau de bord permettant d'identifier les points forts et faibles des différents systèmes de culture testés

	Conventionnel Smoothee (système de référence)	Econome en intrants Melrose, Ariane	Agriculture biologique Melrose, Ariane
Réduction des pesticides (IFT)	🔴	🟢	🟢
Rendement	🟢	🟢	🟡
Impact environnemental (Iphy)	🔴	🟢	🟡
Faisabilité	🟢	🔴	🟡
Coût de la stratégie	🟢	🟡	🟡

Exemple de tableau de bord « à pastille » issu du projet BioREco (Inra Gotheron, 26).
Les couleurs symbolisent le degré de satisfaction vis-à-vis des critères présentés. Le « rouge » pour la non-satisfaction, le « jaune » pour une satisfaction moyenne et le « vert » pour une bonne satisfaction.

Avantages

- Visualisation rapide des points forts et faibles
- Facilitation des discussions pour déterminer et améliorer ce qui convient ou ne convient pas à chaque acteur

Inconvénient

- Pas d'appréciation globale des performances d'un système de culture, ni de classement

▸ Agrégation des critères pour obtenir une note globale par système

Sur la figure ci-dessous, les pastilles de la figure précédente ont été transformées en chiffres : le 1 correspond à une pastille rouge, le 2 à une pastille jaune et le 3 à une pastille verte.

La somme de ces chiffres correspond à la note globale de chaque système de culture.

	Conventionnel Smoothee (système de référence)	Econome en intrants Melrose, Ariane	Agriculture biologique Melrose, Ariane
Réduction des pesticides (IFT)	1	3	3
Rendement	3	3	2
Impact environnemental (Iphy)	1	3	2
Faisabilité	3	1	2
Coût de la stratégie	3	2	2
Note globale	**11**	**12**	**11**

Exemple de tableau de bord « à points » issu du projet BioREco (Inra Gotheron, 26). Dans cet exemple, les notes agrégées obtenues pour chaque système sont équivalentes entre le système de référence et celui en agriculture biologique.

▸ Pondération des critères en fonction des enjeux et des préférences des acteurs

Pour affiner le classement des systèmes entre eux, il est possible de donner un poids différent à chaque critère, en fonction des enjeux et des préférences des acteurs, et ainsi obtenir une note globale potentiellement différente.

La colonne « pondération » rend compte de l'importance que l'on donne à chaque critère. Chaque note est pondérée par ce poids (une note de 1 pondérée par le facteur 30 % devient égale à 0,3 après pondération). L'agrégation se fait simplement par addition des notes pondérées.

	Pondération	Conventionnel Smoothee (système de référence)		Econome en intrants Melrose, Ariane		Agriculture biologique Melrose, Ariane	
		note initiale	note pondérée	note initiale	note pondérée	note initiale	note pondérée
Réduction des pesticides (IFT)	30 %	1	0,3	3	0,9	3	0,9
Rendement	20 %	3	0,6	3	0,6	2	0,4
Impact environnemental (Iphy)	20 %	1	0,2	3	0,6	2	0,4
Faisabilité	20 %	3	0,6	1	0,2	2	0,4
Coût de la stratégie	10 %	3	0,3	2	0,2	2	0,2
	Total	**2**		**2,5**		**2,3**	

Exemple de tableau de bord « à points » pondéré en fonction des enjeux et des préférences des acteurs, adapté du projet BioREco (Inra Gotheron, 26).

Etape E : Eléments d'interprétation sur le système économe en intrants

Jugement de la performance des systèmes de culture et classement

Sans pondération, les systèmes de culture conventionnels et en agriculture biologique présentent la même note. La pondération a permis de hiérarchiser ces 2 types de systèmes.

Identification des points forts et des points faibles du système de culture

Pour les différents systèmes (avec variétés tolérantes ou résistantes avant contournement de la résistance), la stratégie utilisée permet d'atteindre les objectifs de réduction des pesticides et de rendements (points forts). Cependant, leurs faisabilités de mise en œuvre sont plus complexes. En effet, ils nécessitent le recueil plus important de données, une formation éventuelle et une grande réactivité. Certains investissements peuvent être également nécessaires (points faibles), comme par exemple, une station météo située sur le site expérimental pour alimenter les modèles de simulation (tavelure, carpocapse).



Annexe 10

Extraits du bulletin technique « Info.plaine Production Intégrée »

- **Exemple de conseil par culture : la densité de semis pour l'orge à 2 rangs et l'escourgeon à 6 rangs** (Chambre d'agriculture de Seine-et-Marne, n° 101 du 6 octobre 2015)

AGRICULTURES & TERRITOIRES
CHAMBRES D'AGRICULTURE
SEINE ET MARNE



Densité de semis

Comme sur blé, la réduction de la densité de semis est un moyen privilégié pour réduire le risque verse et maladie, principalement oïdium. Nous suivons les mêmes règles de décision sur la réduction des densités de semis, à savoir :

- 30 % pour les escourgeons et 25 % pour les orges deux rangs, dans les sols profonds sans contraintes particulières et en bonnes conditions de semis,
- 0 à 20 % dans ces mêmes sols, mais en conditions de semis plus difficiles,
- 5 à 10 % dans les sols superficiels ou dans les sols avec un risque d'engorgement pendant l'hiver,
- 0 à 10 % dans les sols très superficiels, caillouteux…

Densités de semis (grains/m²) **pour escourgeon et orge en production intégrée**
source : CA 77 (classification des sols de Seine-et-Marne)

	Escourgeon à 6 rangs Semis du 1er au 20 octobre		Orge à 2 rangs Semis du 1er au 20 octobre	
	bonnes conditions	préparation difficile	bonnes conditions	préparation difficile
Limons et limons argileux sains profonds et semi-profonds Argilo-calcaires semi-profonds Limons calcaires profonds et semi-profonds	130-140	140-180	150-180	200-250
Limons battants assez sains très profonds à semi-profonds Sables limoneux sains	150-160	190-230	190-210	250-300
Sols humides pendant l'hiver Limons battants «humides» peu profonds à semi-profonds Limons argileux ou sableux engorgés Argiles limoneuses, argiles	200-250	semer une autre culture	270-310	semer une autre culture
Sols séchants (sols sableux, sols superficiels)	200-230	250-300	230-270	300-350
Sols séchants et caillouteux (argilo-calcaires superficiels, limons calcaires superficiels…)	230-270	280-300	270-320	320-350

- **Exemple de conseil stratégique : éléments de diagnostics, questions importantes à se poser pour réaliser un diagnostic dans le cas de la gestion des pucerons** (Chambre d'agriculture de Seine-et-Marne, n° 99 du 4 juin 2015).

Pucerons : observer la dynamique pucerons/auxiliaires/plantes

La présence d'auxiliaires suffira-t-elle à contenir les pucerons ?

Le seuil d'intervention ne doit pas être sorti de son contexte

Un seuil d'intervention est souvent interprété dans une approche statique : un nombre d'individus par plante. Les seuils ont aussi été établis il y a plusieurs années, sur un raisonnement économique d'une perte éventuelle de rendement face au prix de l'insecticide.

Ce seuil n'est pas toujours représentatif d'une nuisibilité réelle. Cette nuisibilité dépend :
- de la robustesse de la plante à supporter un ravageur (fonction de l'enracinement, de son état de croissance),
- de l'attractivité de la plante vis-à-vis du ravageur (fonction de l'alimentation azotée et de la richesse en azote de la sève),
- de la vitesse de développement et de l'avancée des stades (fonction des sommes de températures)
- de la présence et du développement des auxiliaires (fonction du paysage et de la pression en insectes dans le territoire).

En d'autres termes, dans les champs : 1 épi/2 colonisé, ce ne sont pas toujours 30 q/ha de perdus !

Ainsi, lorsqu'on observe les parcelles, il ne faut pas se focaliser uniquement sur le ravageur mais observer aussi la dynamique des populations d'auxiliaires et la croissance des plantes. Avec toujours une évidence : le développement des populations d'auxiliaires aura toujours du retard sur le développement du ravageur (la nourriture !).

Quelques questions pour vous guider :

- Quel est le stade de la plante ? Est-on en phase sensible ?
- Quel pourcentage de plantes avec le ravageur sur 2 ou 3 observations espacées de quelques jours ? Quelle est l'évolution de ce ravageur ?
- Les auxiliaires sont-ils présents et quelle est leur évolution ?
- La plante est-elle en croissance rapide ou lente, bien enracinée, robuste… ?

Annexe 11

Fiche d'identité du système de culture DEMIGNY 71

Systèmes en grandes cultures en réduction d'intrants

Pilotes du système de culture
Agnès et David GUICHARD, GAEC de Jasoupe, agriculteurs à Demigny (Saône-et-Loire)

Responsables d'expérimentation
Antoine VILLARD, Elise LEPOUTRE en collaboration avec Emilie CHAUMONT (Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire)

1 - Grands traits du système de culture

Système	Demigny 71
Rotation	Maïs grain – Soja – Blé – Colza - Blé
Stratégies principales	Système en non labour basé sur une succession culturale alternant cultures d'hiver et de printemps, avec diversification des dates de semis, suppression des blés de maïs, pour rompre le cycle des maladies et des adventices (en particulier liseron), et introduction d'une légumineuse de printemps (fixation symbiotique de l'azote atmosphérique). Gestion des adventices basée sur la lutte physique (faux semis), le contrôle cultural (semis tardif des céréales) et la lutte chimique, sans désherbage mécanique. Faible recours au glyphosate. Gestion des maladies basée sur le contrôle cultural (choix variétal, broyage des cannes de maïs pour limiter le risque fusariose, pas de blé de maïs), l'évitement et la lutte chimique (blé et colza). Pas de lutte chimique contre les ravageurs (sauf sur colza avec impasse anti-limace) et contre la verse. Gestion de la fertilisation pilotée par un plan de fumure N, P, K, Ca, Mg. Compost urbain sur maïs pour entretenir l'humus du sol et compenser les exportations de pailles.
Maïs	Variétés précoces (indice 300-320 maxi, groupe C1, série 1 3), semis à partir du 20 avril en sol réchauffé, sans insecticide du sol, ni contre taupin et pyrale (broyage des cannes après récolte et incorporation dans le sol), désherbage de post levée adapté à la flore, avec apport de compost.
Soja	Variétés précoces (indice 00), semis à partir du 25 avril en sol réchauffé, désherbage de pré et post levée (à dose modulée).
Blé panifiable	Variétés peu sensibles aux maladies (septoriose, oïdium, rouille brune) et à la verse, semis tardif, lutte chimique contre les maladies du feuillage et, le cas échéant, contre la fusariose à la floraison, impasse piétin-verse et oïdium. Désherbage au semis (glyphosate) et en sortie d'hiver adapté à la flore.
Colza	Variétés en mélange avec variété à floraison très précoce (pour piéger les méligèthes), de type TPS au phoma, PS verse et élongation automnale, avec association possible avec des légumineuses gélives au semis pour concurrencer les adventices, désherbage de pré levée avec rattrapage d'automne, fongicide sclérotinia si kit pétale positif, impasse sur altises à l'automne, impasse sur charançons du bourgeon terminal si colza bien développé seulement, insecticide si dépassement des seuils contre méligèthes et sur charançons de la tige si présence dans la cuvette jaune, stade de sensibilité du colza atteint et conditions favorables.

2 - Origine du système dans l'expérimentation

Dans ces milieux, les exploitations ont parfois tendance à développer des systèmes de culture de plus en plus simplifiés de type Maïs grain – Blé sur des parcelles saines ou parfois drainées. Ce système de culture pose des problèmes de fusariose et éventuellement de mycotoxines sur les maïs grain et blés. Les entreprises de transformation y sont de plus en plus sensibles.

Des systèmes sans labour avec des successions de type Colza – Blé – Orge ont également tendance à se développer dans la région du Chalonnais.

Le système de culture testé a été conçu par les Chambres d'Agriculture de Saône-et-Loire et de Bourgogne en collaboration avec Agnès et David GUICHARD (agriculteurs, GAEC de Jasoupe à Demigny) dans le cadre des programmes régionaux « Plus d'Agronomie, Moins d'Intrants » (2003 - 2010) puis « Systèmes de culture innovants, Ecophyto, 0 herbicide ? » (2011 - 2017).

3 - Contextes pédo-climatique, socio-économique, biotique

Situation géographique	Chalonnais, Demigny (71)
Climat	Semi-continental (750 mm /an) T° moyenne = 11,1 °C
Type de sol	limons battants drainés
Réserve utile	100 mm
Potentiel de rendement	blé : 70 à 75 q/ha maïs : 90 à 100 q/ha
Irrigation	Non irrigué

Bioagresseurs fréquents

Adventices	**Très présentes :** ray-grass, liseron, panic pied de coq **Présentes :** gaillet grateron, géranium à tige grêle, chardon, coquelicot, renouée liseron, amarantes, chénopodes **Peu présentes :** pensée des champs, matricaire, plantain lancéolé, pissenlit, carotte sauvage, prêle, rumex, chiendent rampant
Maladies	**Blé :** septoriose, fusariose, rouille brune **Colza :** sclérotinia
Ravageurs	pucerons (blés), altises, charançons, méligèthes (colza)
Autres...	

Contexte de l'exploitation qui met en œuvre l'expérimentation système

- SAU : 173 ha, situé entre Beaune et Chalon-sur-Saône
- UTH : 2,15 (couple + aide temporaire d'un retraité)
- Exploitation céréalière : blé, maïs grain, colza, tournesol, orge d'hiver, soja, avec 8 à 10 ha de légumes de plein champ irrigués (petits pois et haricots verts) jusqu'en 2012 (fermeture de l'usine D'AUCY)
- Activité d'entreprise agricole (Moissons)
- Système de culture initial basé sur une succession de type Maïs - Blé sur les parcelles en limons non irrigués
- Parcellaire morcelé et proche de l'exploitation

Enjeux locaux, socio-économique et de filières

Les exploitations du Chalonnais sont de tailles importantes et spécialisées en céréales avec, pour certaines d'entre elles, des ateliers d'élevage laitier ou bovin allaitant.
Les cultures sont quasi exclusivement vendues à la coopérative Bourgogne du Sud. Les débouchés principaux concernent les cultures blé, colza, maïs, orge d'hiver de brasserie, tournesol et soja. Les débouchés pour les protéagineux et les céréales secondaires sont plus complexes.

4 - Dispositif expérimental

Année de début d'expérimentation : 2004 (1ère récolte)
Durée prévue : *a minima* une rotation, soit 5 ans
Année de fin d'expérimentation : 2015

Type de dispositif

Le système de culture est expérimenté sur 4 parcelles de l'exploitation, avec des répétitions temporelles sans randomisation.
Les parcelles sont de taille moyenne à assez grande : 2,78, 4,46, 6,29 et 10,64 ha.

Le système de référence est un système de culture historique.

Organismes impliqués

Chambre d'agriculture de Saône-et-Loire
Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne
Comité technique régional "systèmes de culture innovants"

5 - Objectifs assignés au système testé & attentes

- Disposer d'un système permettant de maintenir les rendements et la qualité des produits
- Economes en intrants et « simple » à mettre en place (sans labour)
- Maîtriser la flore adventice sans dégradation de la situation initiale

Attentes du responsable de l'expérimentation (qui porte ceux des acteurs du territoire)

- Limiter au maximum l'IFT

Attentes du pilote

- Rendement blé ≥ 65 q/ha
- Rendement maïs ≥ 95 q/ha
- Rendement colza ≥ 29 q/ha
- Rendement soja ≥ égal à 23 q/ha
- Maîtrise du salissement : pas d'explosion de peuplement d'adventices en nombre de plantes/m² et en nombre d'espèces (pas de pertes économiques)

6 - Stratégies de gestion

Schéma décisionnel de la stratégie de maîtrise des adventices

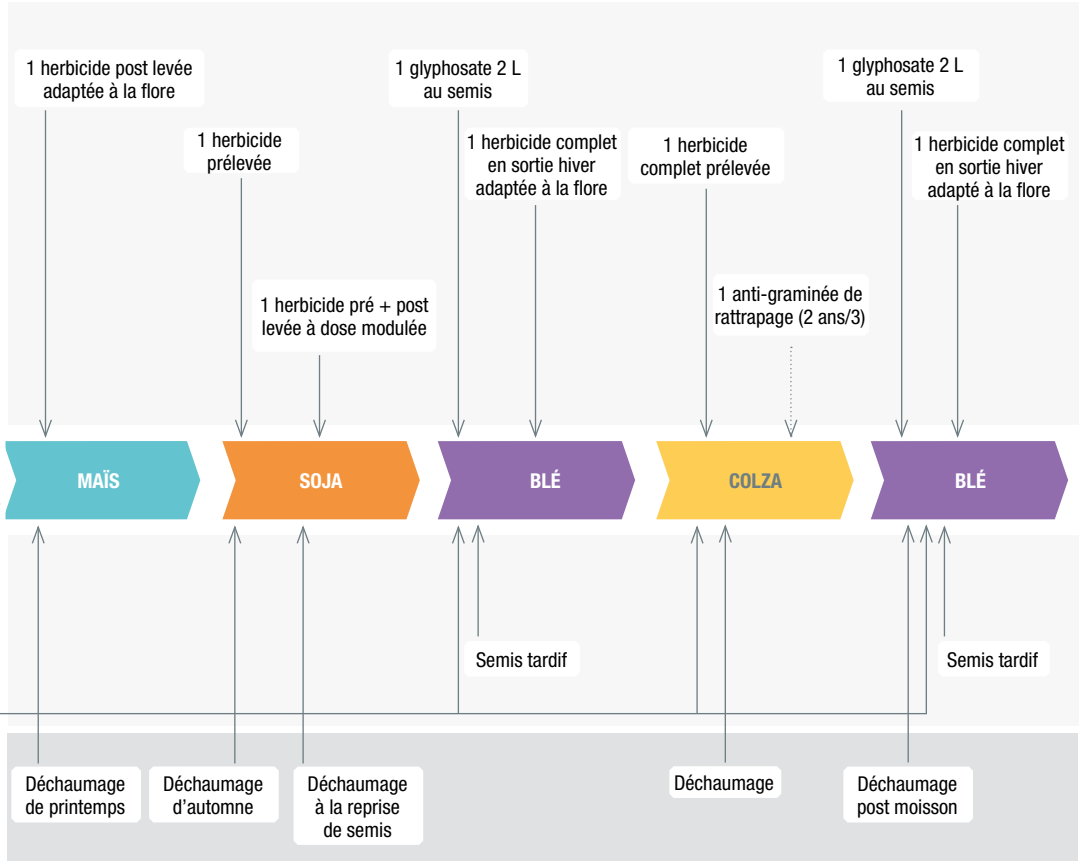
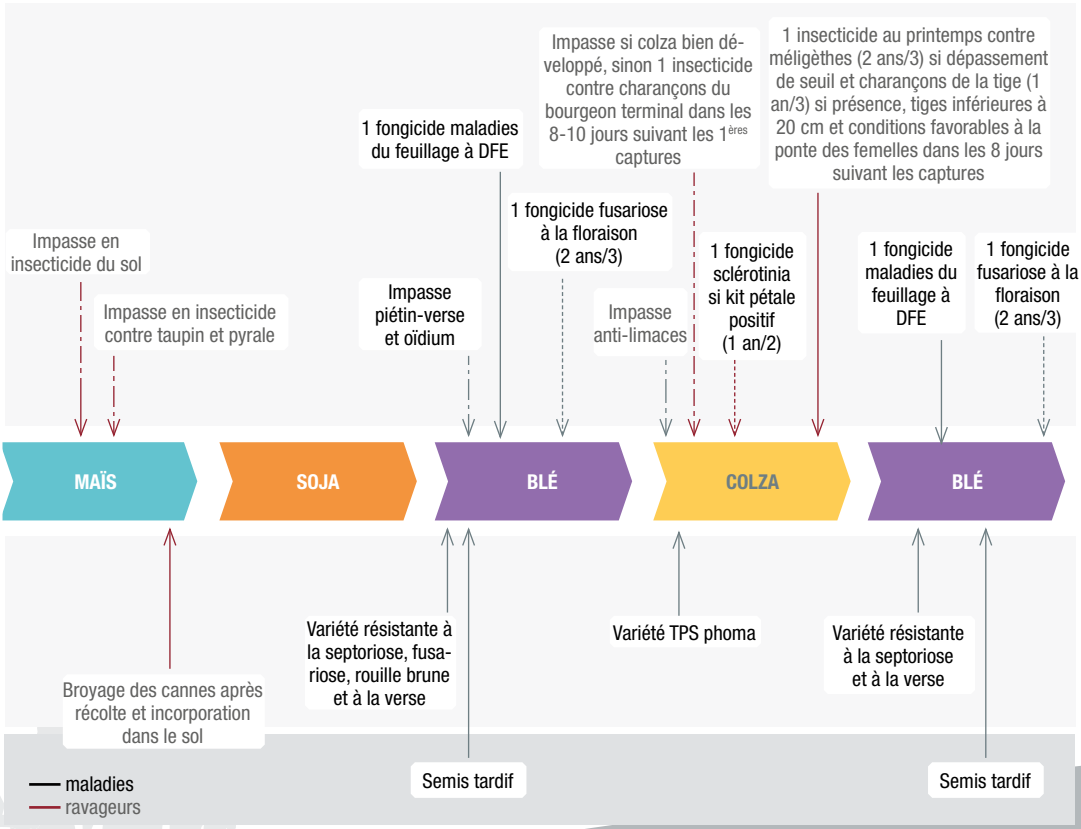


Schéma décisionnel de la stratégie de maîtrise maladies et ravageurs



7 - Système de culture pratiqué

Cultures / Intervention	Maïs	Soja	Blé	Colza	Blé
Interculture précédent		18/10 déchaumage néodéchaumeur 5 cm			10/8 déchaumage vibroculteur 5 cm
Travail du sol Faux semis	10/3 déchaumage vibroculteur 10/4 décompactage à 25 cm 20/4 déchaumage vibroculteur le jour du semis	1/5 déchaumage vibroculteur 5 cm à la reprise de semis	25/9 déchaumage vibroculteur 5 cm	1/8 déchaumage vibroculteur 5 cm 15/8 décompactage à 25 cm 25/8 déchaumage vibroculteur 5 cm	25/9 déchaumage vibroculteur 5 cm
Semis Variétés	20/4 semis Unidrill Variété type Axiome indice 320, 85 000 gr/ha	1/5 semis direct unidrill Variété 00 type Nikita 110 kg/ha, 600 000 plantes/ha	15/10 semis Unidrill Variété type Arrezzo150 kg/ha, 350 gr/m²	26/8 semis Unidrill Variété type Adriana 2,5 kg/ha (semences de ferme)	13/10 Semis Unidrill Variété type Arrezzo 138 kg/ha 320 gr/m²
Lutte / adventices	30/5 Calisto 0,8 L + Milagro 0,8 L + Eclat 0,1 L	28/4 Mercantor 1 L 20/5 Stratos 2 L 1/6 Pulsar 1 L	15/10 Potomac (glyphosate) 2 L 5/3 Absolu 300 g	26/8 Colzor trio 0,5 L + Axter 1 L 4/10 Stratos ultra 1 L (2 ans/3)	15/10 Potomac (glyphosate) 2 L 5/3 Absolu 300 g
Lutte /maladies			1/5 Ménara 0,3 L + Bravo 500 0,8 L + Amistar 0,07 L + Mirage 450 0,2 L en mélange 18/5 Sunorg pro 1 L (2 ans/3)	18/4 Pictor pro 0,25 kg + Sunorg pro 0,4 L (1 an/2)	1/5 Ménara 0,3 L + Bravo 500 0,8 L + Amistar 0,07 L + Mirage 450 0,2 L en mélange 18/5 Sunorg pro 1 L (2 ans/3)
Lutte / insectes				5/4 Mavrik flo 0,2 L (2 ans/3) contre méligèthes 15/3 Ducas 0,3 L (1 an/3) contre charançons de la tige	
Lutte / autres				Impasse anti-limace	
Fertilisation	15/1 compost CMR[1] 13 T 25/5 urée 283 kg (130 uN)	20/3 KCl 150 kg	12/3 Super 45 150 kg 15/2 Ammonitrate 33,5 120 kg 12/3 Ammonitrate 33,5 150 kg 5/4 Ammonitrate 33,5 150 kg 17/5 Urée 130 kg	11/2 Ammonitrate 33,5 250 kg 5/3 18 46 0 150 kg 5/4 Ammonitrate 33,5 130 kg 28/1 Potasse 250 kg 16/3 Kiésérite 150 kg	12/3 Super 45 150 kg 15/2 Ammonitrate 120 kg 12/3 Ammonitrate 33,5 150 kg 5/4 Ammonitrate 33,5 150 kg 17/5 Urée 130 kg
Récolte	10/10 100 q/ha (humidité 29%)	12/9 23 q/ha	20/7 65 q/ha	5/7 29 q/ha	20/7 65 q/ha
Export de résidus	Broyage sous bec		Pailles enlevées	Broyage (moissonneuse) Pailles enfouies	Pailles enlevées

Les dates correspondent aux dates médianes des pratiques réelles enregistrées, les quantités sont indiquées à l'hectare et sont issues de moyennes des pratiques réelles enregistrées.
Les fréquences permettent de prendre en compte la variabilité inter-annuelle (1 fois sur 2). Attention, sachant que le maïs est implanté tous les 4 ans, «1x/2» dans la colonne maïs signifie une année sur 8.
Les médianes, moyennes et fréquences des pratiques réelles enregistrées peuvent être modifiées à la marge par expertise de l'expérimentateur et du pilote pour refléter la réalité du contexte ou corriger des biais expérimentaux.

1 Creusot – Montceau Recyclage

8 - Résultats & Performances obtenus

Résultats agronomiques

Initialement, les parcelles étaient assez sales, en particulier avec des problèmes de ray-grass et de liseron des haies.

Dans le système testé, les observations et comptages sur ces espèces montrent que le salissement devient plus important sur ray-grass. Le désherbage du ray-grass devra être renforcé sur blé et colza. Inversement le liseron toujours présent pose moins de difficultés pour le pilote. L'utilisation du glyphosate (uniquement au semis des blés) a été réduite à des doses efficaces sur graminées et jeunes dicotylédones annuelles (2 L/ha).

Dans les blés, les doses d'herbicides employées sont très réduites, mais aucune impasse n'a pu être réalisée.

Aucun problème de verse n'a été observé, malgré l'impasse en régulateur réalisée.

Aucun problème majeur en insectes n'a eu lieu sur la durée de l'expérimentation système.

Sur maïs, le taupin et la pyrale n'ont pas posé de problèmes en l'absence de traitements insecticides.

Sur colza, l'impasse des insecticides d'automne a été systématique malgré parfois le dépassement des seuils sur les comptages de charançons du bourgeon terminal. Au printemps, un seul traitement a été réalisé sur colza en moyenne, sur charançons de la tige et parfois de méligèthes. Les limaces n'ont jamais posé de problèmes, sauf parfois dans le premier mètre périphérique des parcelles.

Sur blé, les pucerons d'automne n'ont pas été présents avec des semis moyennement précoces.

Au total un seul insecticide (sur colza) est réalisé dans la rotation de 5 ans.

Résultats techniques

Avec des rendements en blé de 65 q/ha, en colza de 29 q/ha, en maïs de 100 q/ha, en soja de 23 q/ha, les rendements sont satisfaisants dans ce système par rapport au système de référence, ainsi que par rapport aux moyennes observées dans les groupes de développement de la petite région agricole et du département (Michel D., 2010). Toutefois, les résultats attendus sur blé et colza dans ce type de milieu pourraient être plus importants.

Concernant le mycotoxines, aucun problème n'a été identifié depuis la mise en place de l'expérimentation système.

Les taux de protéines moyen du blé (11,5 %) répondent au cahier des charges de la filière, sans atteindre de records.

Performances économiques, environnementales et sociales

- Les résultats économiques du système sont considérés comme moyens, avec une marge brute de 668 €/ha/an et une marge semi-nette de 447 €/ha/an (respectivement hors DPU), sachant qu'ils atteignent les résultats visés par le pilote

- L'IFT total de 2,39 est égal à 43 % de l'IFT de référence régional Bourgogne (5,5 en 2011) pour les systèmes de grandes cultures. Pour toutes les cultures, les IFT herbicides et hors herbicides sont très inférieurs à la référence régionale. Les traitements fongicides blé (1 à 2 passages) sont restés importants, de même que le désherbage du maïs nécessitant une association de 3 produits en post levée.

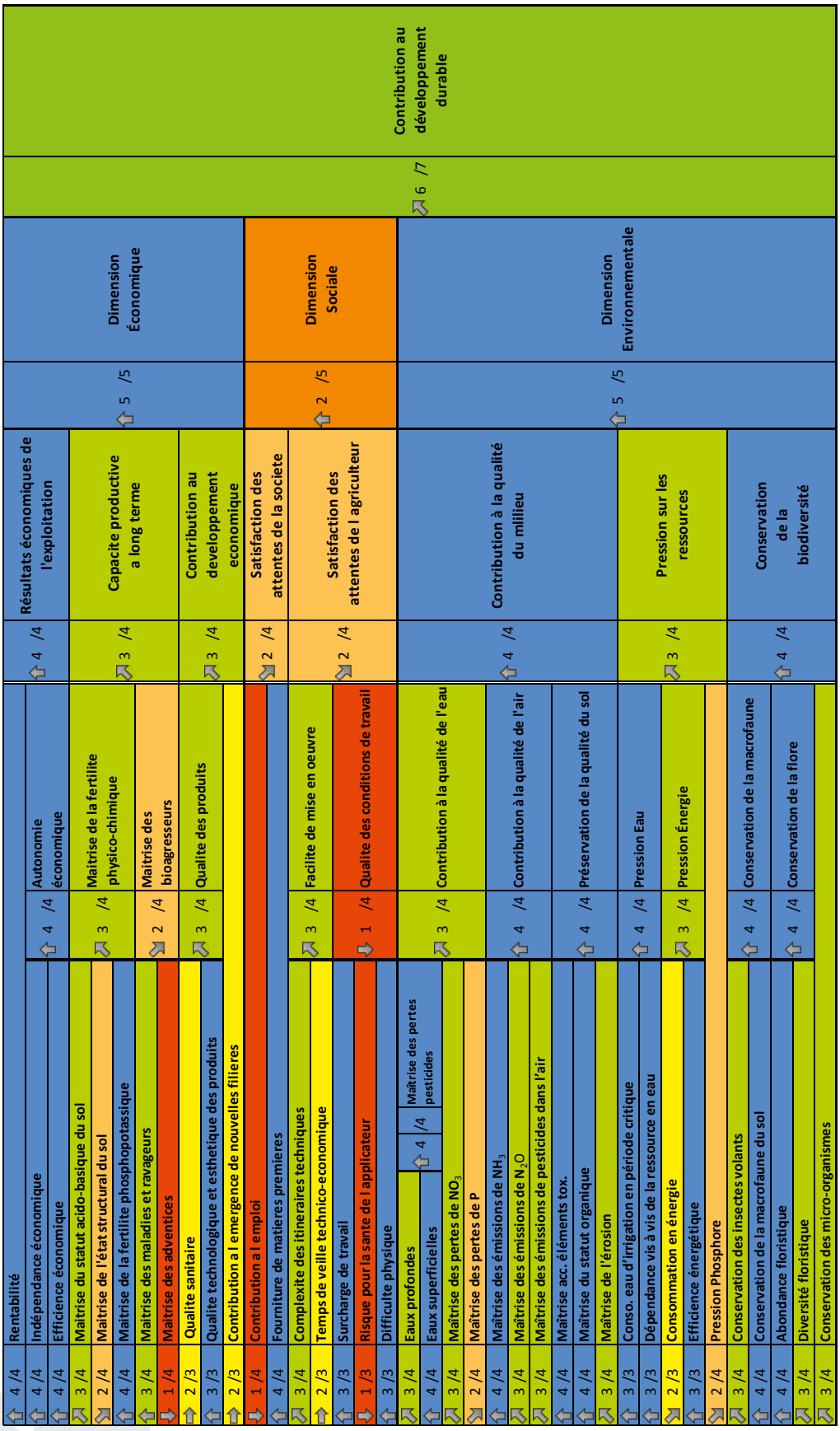
- Les risques de pertes de matières actives dans le milieu sont assez faibles avec une note Iphy eaux superficielles de 9,25 et Iphy eaux profondes de 7,64 (une note de 7 est considérée comme bonne et 10 est la meilleure). Le produit de prélevée utilisé pour le désherbage du soja est l'application qui est la plus problématique.
- Le système est plutôt bon pour les émissions de NH_3 et correct pour les émissions de N_2O.
- La consommation en énergie avec 11,81 GJ/ha/an est moyenne, grâce au moindre travail du sol profond (2 décompactages à 25 cm dans la rotation de 5 ans). La consommation d'azote minéral avec 137 unités N/ha est dans la moyenne de ce type de système, tout en restant élevée pour le blé et le maïs, contribuant à ce niveau de consommations énergétiques. L'introduction du soja permet d'améliorer sensiblement ce poste. La diminution de la part du maïs participe à son amélioration, le maïs grain nécessitant du séchage consommateur d'énergie. Au final, l'optimisation plus fine de la gestion de l'azote serait une piste de travail possible.
- D'un point de vue plus social, ce système n'entraîne pas de surcharge de travail. L'impasse assez systématique des interventions, sans observations particulières de la part du pilote (notamment en insectices, limaces, voire adventices), peut simplifier l'organisation du travail. Le recours à des observations plus fréquentes pourrait conduire à faire plus de traitements qu'initialement prévu. Dans cette expérimentation, le pilote recherche un système très simplifié.

Performances du système

Critère	Unité	Cultures				Moyenne SdC
		Mais	Soja	Blé	Colza	
Marge brute	€/ha/an	790	785	1110	765	912
Charges de mécanisation	€/ha/an	230	177,5	234	230	221
Marge semi nette	€/ha/an	560	607	876	535	691
Risque toxicité	/	2	1	3,66	2,5	2,56
IFT herbi		1,27	1,75	1,27	0,79	1,27
IFT hors herbi		1	0	2,89	2,82	1,12
Perte pesticides* (eaux surface)	Note/10	9,74	9,06	9,12	9,19	9,25
Perte pesticides* (eaux profonde)	Note/10	8,36	5,26	8,41	7,78	7,64
Perte pesticides* (air)	Note/10	9,9	8,92	7,73	8,06	8,47
Consommation énergétique	GJ/ha/an	17,96	3,17	12,81	12,18	11,81
Efficience énergétique	/	8,44	13,22	12,13	5,79	9,7
NH_3*	Note/10	8,05	10	8,89	9,7	9,11
NO_2*	Note/10	7,77	7	7,1	7,81	7,3
Maitrise du statut organique	Note/10	10	10	8,48	10	9,39

* : note de la méthode Indigo® de l'Inra Colmar

Performances de durabilité du système de culture testé à Demigny 71, à l'aide du modèle d'évaluation multicritère MASC 2.0®



9 - Enseignements, pistes d'amélioration du système & perspectives

Les rendements obtenus sont en adéquation avec les objectifs, avec des résultats réguliers.

L'objectif de réduction des IFT est atteint. L'introduction du désherbage mécanique, initialement prévu avec en particulier le binage du colza, n'a pas été mis en place. La baisse des herbicides n'est pas aussi spectaculaire que sur les autres pesticides.

Le système mis en place est assez simplifié et facilement gérable pour l'organisation du travail.

Les parcelles ne sont pas très propres mais la pression de la flore adventice n'est pas plus forte qu'au début de l'expérimentation, sauf pour le ray-grass qui commence à poser de réels problèmes.

Les pistes de travail identifiées par le pilote dans ce système à l'issue des 12 années d'expérimentation système sont les suivantes :

- Alors même que le risque maladies n'est pas toujours très élevé, la réduction des fongicides, notamment contre la fusariose du blé, est très difficile à mettre en place.
- Les IFT herbicides sont limités mais des traitements sont réalisés tous les ans sur toutes les cultures. Pour réduire ces interventions, le désherbage mécanique initialement prévu pourrait être mis en place. Le pilote considère ne pas avoir la disponibilité suffisante pour le faire dans son contexte d'exploitation.
- La fertilisation azotée sur blé, maïs, voire colza pourrait être optimisée plus finement.
- Le semis de blé sans glyphosate est en cours de test. Toutefois, la destruction mécanique des repousses de colza avant blé en année humide n'est pas facile.
- Une piste d'évolution du système serait de tester le semis sous couvert, avec implantation de cultures intermédiaires, l'exploitation étant depuis 2013 en zones vulnérables.

De manière complémentaire, les perspectives envisagées par les responsables d'expérimentation sont :

- une réflexion de la gestion de l'azote, en particulier sur blé, en mobilisant de nouveaux outils plus fiables pour piloter les derniers apports
- Concevoir une stratégie pour lutter contre le ray-grass
- Observer la faune auxiliaire pour comprendre et analyser les faibles pertes dues aux limaces
- Poursuivre les essais de semis de colza associé à des légumineuses et de désherbage de post levée sur colza

10 - Contacts

- **Antoine VILLARD** (Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire)
  Tél : 03 85 29 56 22 - mail : avillard@sl.chambagri.fr
- **Elise LEPOUTRE** (Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire)
  Tél : 03 85 98 14 17 - mail : elepoutre@sl.chambagri.fr
- **Emilie CHAUMONT** (Chambre d'Agriculture de Saône-et-Loire)
  Tél : 03 85 29 55 72 - mail : echaumont@sl.chambagri.fr

11 - Pour en savoir plus …

Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne, 2012, Actes de la Conférence régionale «Grandes cultures» du 16 janvier 2012, Systèmes de culture innovants Résultats agronomiques et gestion des adventices, performances économiques, environnementales, sociales, pp. 23-28, http://www.bourgogne.chambagri.fr/fileadmin/documents_crab/Grandes_cultures/GC_Conférence_régionale_GC_Synthèse_2012-01-16_VFinal.pdf

Deytieux V., Vivier C., Minette S., Nolot J-M., Piaud S., Schaub A., Lande N., Petit M-S., Reau R., Fourrié L., Fontaine L., 2012, **Expérimentation de systèmes de culture innovants : avancées méthodologiques et mise en réseau opérationnelle**, Innovations Agronomiques 20, pp. 49-78 (Article pdf, 855 Ko) à télécharger sur : http://www7.inra.fr/ciag/revue/volume_20_juillet_2012

11 - Le système de culture en images



Action réalisée dans le cadre du

- **Programmes régionaux « Plus d'Agronomie, Moins d'Intrants » et « Systèmes de culture innovants, Ecophyto 2018, 0 herbicide ?», « Systèmes de culture innovants vers une agriculture durable », Programme régional de développement agricole et rural de Bourgogne** avec le soutien du Conseil régional de Bourgogne, du FEADER, du Compte d'Affectation Spéciale Développement Agricole et Rural
- **Systèmes de culture innovants économes en intrants orientés vers une agriculture durable,** avec le soutien du Conseil général de Saône-et-Loire
- **RMT Systèmes de cultures innovants** avec le soutien financier du Compte d'Affectation Spéciale Développement Agricole et Rural

GLOSSAIRE

Attentes

Les attentes, appelées aussi résultats attendus ou critères de satisfaction, sont explicitées à partir des objectifs assignés au système. Certaines sont énoncées par le pilote du SdC, d'autres par le responsable de l'expérimentation (qui porte pour partie celles des différents commanditaires, le cas échéant).
Les indicateurs traduisant les attentes sont utilisés pour définir les modalités de gestion des systèmes décisionnels, pour évaluer les SdC et les faire évoluer. Elles peuvent être quantitatives et/ou qualitatives (Schaub *et al.*, 2016 ; Acosta-Alba et Van der Werf, 2011)
Le pilote du sdc est guidé par des finalités précises (ex : maîtriser les adventices pour éviter les dommages de rendement et le salissement de la parcelle à long terme), qu'il décline en jalons (ex : pas plus de 2 vulpins qui dépassent dans la parcelle à la récolte du blé), lui permettant de vérifier à chaque campagne s'il est sur la bonne voie quand les résultats obtenus coïncident avec ce qui est attendu, ou s'il y a un écart qui peut le conduire à revoir sa façon de faire et sa façon de décider (Schaub *et al.*, 2016).

Cohérence agronomique

La cohérence agronomique traduit la capacité des règles de décision à atteindre les objectifs agronomiques visés (Debaeke *et al.*, 2008 ; Deytieux *et al.*, 2012). On utilise à la fois des variables mesurées à la récolte, comme le rendement, et des variables intermédiaires qui permettent de juger de l'efficacité des différentes interventions. Ainsi, par exemple, pour vérifier que le semis tardif, la réduction des doses d'azote ou la réduction du peuplement conduisent à une baisse de la pression de maladies en blé ou en tournesol, des notations ou comptages s'imposent au stade approprié. Le seul rendement ne permet pas de valider le bien-fondé de cette stratégie agronomique. Le recueil de variables intermédiaires permet de réaliser un diagnostic des causes d'écarts entre rendements visé et réalisé.

Critère

Un critère est une variable ou une caractéristique qui permet de juger, d'estimer ou d'évaluer l'objet étudié. On distingue 2 types de critères : des critères de décision ou de pilotage qui sont couplés à des conditions (seuils, présence/absence …) et des critères d'évaluation (éléments à partir desquels on peut évaluer l'atteinte ou non des attentes). Des indicateurs permettent de les mesurer ou de les estimer. Ils sont toujours couplés à des valeurs permettant leur interprétation et sont associés à des objectifs de minimisation, de maximisation ou d'optimisation (adaptés de Lairez *et al.*, 2015 ; Girardin *et al.*, 1997 ; Girardin *et al.*, 1999).

Développement durable

Le développement durable est un développement qui répond au besoin des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Il repose sur 3 piliers : économique, environnemental et social.
(CMED 1987) repris au Sommet de la Terre à Rio de 1992 ; Lichtfouse *et al.*, 2009)

Diagnostic

Le diagnostic est le raisonnement menant à un constat et à l'identification des causes de l'écart ou de l'absence d'écart, entre ce qui est observé ou mesuré d'une situation et ce qui est attendue d'elle (Vilain *et al.*, 2008 ; Gras *et al.*, 1989).
Si un écart existe, il s'agit de formuler une hypothèse sur les causes probables de cet écart, en vue d'avancer un pronostic sur l'évolution de la situation ou d'énoncer des voies d'amélioration.

Diagnostic agronomique

Le diagnostic agronomique consiste en une évaluation du fonctionnement d'un champ cultivé, par rapport à un état attendu (par exemple, le rendement, une densité de peuplement, une biomasse …). Il permet de :

- caractériser l'état du peuplement et/ou du milieu, à l'aide d'indicateurs élémentaires (mesures, observations …) et de relier ces états aux résultats et performances du champ cultivé
- identifier les échecs, les succès, ainsi que leurs causes (Doré *et al.*, 2006)
- caractériser les « conditions de réussite » des résultats, c'est-à-dire des conditions dans lesquelles ils ont été obtenus pour assurer leur extrapolation à d'autres situations.

Durabilité agricole

La durabilité agricole consiste en la gestion et l'organisation des écosystèmes agricoles dans le but de maintenir leur diversité biologique, leur productivité, leur résilience, leur vitalité et leur capacité à fonctionner de manière à satisfaire, aujourd'hui et dans le futur, les fonctions écologiques, économiques et sociales qui lui sont attribuées au niveau local, national et global sans être dommageable pour les autres écosystème (Lewandowski *et al.*, 1999).

Enjeu

Un enjeu est quelque chose que l'on risque dans une compétition, une activité économique ou une situation vis-à-vis d'un aléa. C'est donc ce que l'on peut gagner ou perdre en faisant quelque chose ou en ne le faisant pas.
(https://fr.wikipedia.org/wiki/Enjeu consulté le 6 juin 2016)

Evaluation

L'évaluation est une méthode qui permet de porter un jugement sur un résultat et donc de connaître la valeur d'un résultat qui ne peut pas être mesuré. Ce processus peut être *in situ* (mesures) ou *ex situ* (indicateurs et outils). Il peut également être mené ex ante (avant une action) ou *ex post* à partir de résultats. Plusieurs types d'évaluation existent : de la faisabilité technique, des résultats techniques et agronomiques, le diagnostic agronomique, l'évaluation multicritère des performances, de l'évolution du système de culture testé (Alaphilippe A., communication personnelle).

Evaluation multicritère

L'évaluation multicritère repose sur l'analyse et l'interprétation de plusieurs critères conjointement par rapport aux objectifs assignés à l'expérimentation système. Il s'agit d'évaluer le système de culture sur l'ensemble des critères choisis dans un contexte donné. On peut notamment évaluer les performances des trois volets environnemental, économique et social de la durabilité. Elle permet entre autres de :

- juger des performances des SdC
- les classer
- identifier ses points forts et ses points faibles

Expérimentation système

L'expérimentation système est une démarche expérimentale pour tester un système de culture en conditions réelles. Elle consiste à concevoir, mettre en œuvre expérimentalement, mettre au point et évaluer un système de culture cohérent. Elle permet d'évaluer la faisabilité technique et la cohérence agronomique d'un système, sa capacité à atteindre les objectifs assignés initialement, ainsi que ceux plus généraux de la durabilité, d'améliorer les connaissances de l'effet d'un système sur son agroécosystème (adapté de Reau *et al.*, 1996 ; Nolot et Debaeke, 2003 ; Deytieux *et al.*, 2012). Elle est un lieu de production de connaissances, d'échange, de démonstration, d'apprentissage…

Faisabilité technique

La faisabilité technique qualifie l'aptitude à mettre en œuvre une pratique culturale, une règle de décision ou un corps de règles de décisions dans le contexte de production considéré (Debaeke *et al.*, 2008). Son évaluation se fait le plus souvent *a posteriori* de l'expérimentation en analysant les fréquences auxquelles ils ont pu être mis en œuvre ou non, grâce à l'enregistrement des interventions réalisées (dates, conditions/réglages des machines, qualité d'interventions ...). L'évaluation de la faisabilité technique du système permet de s'assurer de la possibilité de sa mise en œuvre en observant et en caractérisant l'écart entre les systèmes réalisés et prévisionnels.

Fonction

Une fonction consiste à définir à quoi sert un ensemble de solutions concourant au même résultat. On distingue les fonctions permettant de produire un bien (produit tangible et stockable) ou de rendre un service (fourniture de nectar et pollen pour les abeilles, maîtrise des pertes d'azote... par exemple). La fonction relie la décision aux objectifs et aux contraintes (Reau *et al.*,1996). Utilisée pour expliciter les règles de décision, la fonction peut également être appelée domaine de pilotage.

Des exemples de fonctions courantes sont la maîtrise de la fertilité, la maîtrise des ravageurs, la maîtrise de l'alimentation hydrique des cultures...

Indicateur

Un indicateur est une variable quantitative ou qualitative fournissant des informations aux utilisateurs qualifiant un phénomène complexe en vue d'en faciliter sa compréhension. Il se base sur des observations, des données, des sorties de modèles ou des mesures. On distingue les indicateurs élémentaires (mesure, description de phénomènes, de pratiques, observations, données statistiques, calculs, sorties de modèle), et des indicateurs composites issus de l'agrégation d'indicateurs élémentaires.

Un indicateur doit répondre à plusieurs critères et être :

- robuste, fiable, précis et donc spécifique, c'est-à-dire qu'il doit refléter effectivement les variations de ce qu'il est censé synthétiser ou estimer, sans dérive au cours du temps
- compréhensible et utilisable par tous les acteurs (mesures et calculs simples et applicables)
- pertinent par rapport à l'objectif concerné en permettant de répondre aux questions posées
- pertinent par rapport au système étudié et au type d'utilisation (échelle de travail, type d'outil)
- acceptable en termes de coût, par rapport au service qu'il rend
- reproductible dans le temps et dans l'espace
- le cas échéant, non redondant avec les autres indicateurs.

(Mitchell *et al.*, 1995 ; Girardin *et al.*,1999 ; Lairez *et al.*, 2015)

Innovation

L'innovation qualifie un degré de changement par rapport à un produit ou une technique existante, en vue d'atteindre des objectifs et des résultats attendus renouvelés (Meynard *et al.*, 2006). C'est une invention qui a rencontré un public, qui a trouvé sa valeur marchande ou d'usage (Cerf M., communication personnelle). Elle peut être un processus collectif et interactif.

Itinéraire technique

L'itinéraire technique est défini comme la combinaison logique et ordonnée des modalités techniques mises en œuvre sur une culture, en vue d'en obtenir une production (Sebillotte M., 1974).

Méta-règles de décision

Une méta-règle ou règle de décision stratégique est une règle permettant d'organiser et gérer un ensemble de règles opérationnelles pour piloter le système de culture, en vue d'atteindre les objectifs et attentes fixés (Jolivet et Navarre, 1993).

Objectifs

Un objectif est ce que l'on souhaite atteindre, au regard des enjeux, besoins et problèmes (Lépicier *et al.*, 2011).

Outil d'aide à la décision (OAD)

Un outil d'aide à la décision propose un diagnostic de la situation, accompagné de règles de décision permettant de guider le pilote dans la décision à prendre.

Performance

La performance est définie par la capacité des systèmes de culture à produire des résultats répondant à différents objectifs, notamment au regard des trois piliers du développement durable, à savoir économique, environnemental et social. La performance peut être estimée par le biais d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs (Petit *et al.*, 2012).

Pilote du système de culture

Le pilote du système de culture est le responsable de la mise en œuvre du système au quotidien (Schaub *et al.*, 2016). Il est ainsi celui qui prend les décisions d'intervenir ou pas sur la parcelle, tout en observant régulièrement le champ cultivé, pendant l'intervention et entre les interventions. Il peut être aussi celui qui réalise les interventions ou pas. Selon les expérimentations, le pilote peut être une seule personne (l'agriculteur, le chef de culture, l'expérimentateur) ou un groupe qui discute les décisions.

Prototype de système

Un prototype est un exemplaire incomplet et non définitif de ce que pourra être un produit ou un objet final, qui a pour rôle de démontrer ou d'infirmer le bien fondé d'un concept avant toute valorisation. Dans le cadre des expérimentations système, un prototype de système de culture est conçu par un groupe de travail, de manière à satisfaire à des objectifs fixés *a priori* et qui doit être mis à l'épreuve en conditions réelles.

Référence

Une référence est un repère permettant d'interpréter les indicateurs en définissant leurs niveaux souhaitables ou des seuils. Dans le cadre des expérimentations système, le terme de référence peut prendre plusieurs visages. Il peut s'agir :

- de valeurs repères considérées individuellement, sans forcément de cohérence entre elles (IFT régional, rendement moyen régional). Il peut s'agir de connaissances scientifiques (enquêtes/observations en parcelles, utilisation de modèles), de choix de société (réglementation, norme) etc.
- d'un système de culture de référence.

Les valeurs de référence sont absolues lorsqu'elles permettent l'évaluation à partir de valeurs prédéfinies par la science ou par un consensus sociétal (normes réglementaires, seuils d'irréversibilité, valeurs cibles …). Lorsqu'il n'est pas possible d'établir scientifiquement les valeurs de référence ou bien que le consensus sociétal est difficile à obtenir, il est possible d'utiliser les valeurs de référence relatives (issues de la comparaison des systèmes dans le temps ou l'espace).
(d'après Lairez *et al.*, 2015 ; Acosta-Alba and van der Werf, 2011)

Règle de décision (RdD)

Une règle de décision est le lien logique entre des objectifs et les actions à mettre en œuvre dans chacune des situations que l'on peut rencontrer dans un contexte donné. Cette règle permet d'adapter les décisions d'intervention au champ, en fonction de l'état du milieu et/ou du couvert dans la parcelle cultivée. Il existe 2 types de règles : stratégiques (ou méta-règles) et opérationnelles. Elles peuvent être des routines (règles de décision systématiques) ou des règles de décision conditionnelles de type « si …, alors …, sinon … ».
(Henry *et al.*, 2012 ; Meynard *et al.*, 1996 ; Reau *et al.*, 1996 ; Deytieux *et al.*, 2012)

Résultats

Les résultats sont des variables qualitatives ou quantitatives, correspondant aux observations, mesures et enregistrements réalisés tout au long de l'expérimentation. Afin de juger de la réussite ou de la performance du système, il est nécessaire de confronter les résultats aux attentes du pilote et du responsable de l'expérimentation, ou à des références. Il faut distinguer les résultats du champ cultivé, issus de la composante biophysique, des résultats sur les moyens réellement mis en œuvre sur les parcelles, issus de la composante technique.

Les résultats se déclinent en :

- Résultats agronomiques, décrivant l'état des parcelles et des cultures comme le salissement de la parcelle, l'état structural du sol, les dégâts de bioagresseurs, les symptômes de carence…
- Résultats techniques de production, se traduisant par le rendement et la qualité de la récolte...

Le pilote se sert de ces résultats pour décider soit de continuer à piloter le système de la même façon, s'il est satisfait, soit de modifier ou d'infléchir sa façon de le gérer dans le cas contraire.

Schéma décisionnel

Le schéma décisionnel est une formalisation sous forme de schéma(s) synoptique(s) du système décisionnel, qui comprend les attentes (déclinaison concrète des objectifs) pour lesquelles le système a été conçu, les stratégies de gestion et les méta-règles qui orientent la construction et la gestion des règles de décision et du plan d'action, et les règles de décision qui vont piloter la mise en œuvre de chaque intervention technique. Un système de culture peut ainsi être représenté à l'aide d'un ou plusieurs schémas.
Le schéma décisionnel peut être formalisé à différentes étapes : au démarrage de l'expérimentation avec un schéma décisionnel *a priori*, en cours ou en fin d'expérimentation avec un schéma décisionnel *a posteriori*. Les différents schémas décisionnels pourront retracer la trajectoire de mise au point de la stratégie. (d'après Reau *et al.*, 2011 ; Petit *et al.*, 2012 ; Schaub *et al.*, 2016)
Le schéma est le mode d'emploi pour piloter le système avec l'équipe expérimentale, et un support d'échanges et de communication à valoriser pour le conseil, l'action et la formation auprès de différents publics.

Situation de production

Une situation de production comprend les composants biologiques, physiques et chimiques d'une parcelle (ou d'un agroécosystème) et de son environnement, excepté la culture, ainsi que les déterminants socio-économiques qui vont influencer les décisions du producteur (Aubertot et Robin, 2013). Le terme environnement désigne le climat et le territoire (le paysage et acteurs associés) influençant directement ou indirectement la parcelle concernée. Elle détermine les résultats agronomiques et techniques du système et ses performances.

Stratégie de gestion

Une stratégie de gestion décrit la manière dont le pilote prévoit de gérer les interventions culturales pour atteindre les résultats qu'il attend du champ cultivé.

C'est un ensemble cohérent comprenant des solutions (moyens) gérées par des règles de décision potentiellement mobilisées par le pilote pour atteindre les résultats attendus (but) pour une fonction considérée (Deytieux *et al.*, 2012 ; Lançon *et al.*, 2008 ; Schaub *et al.*, 2016).

Une fonction est un ensemble de solutions concourant au même résultat. On distingue des fonctions de production (maîtrise de l'alimentation en azote, maîtrise des maladies, maîtrise des adventices …) et des fonctions de service (qualité des ressources en eau, alimentation des abeilles, piégeage du carbone …).

L'ensemble des stratégies forme ce qu'on appelle le système décisionnel, qui décrit l'ensemble des fonctions et les solutions mises en œuvre dans ce système de culture pour atteindre ces fonctions. Une stratégie peut être représentée sous la forme d'un diagramme en « arêtes de poisson » appelé schéma décisionnel.

Système de culture (SdC)

Un système de culture est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur une ou plusieurs parcelles gérées de manière identique au fil des années. Chaque système est caractérisé par la nature des cultures et, le cas échéant, leur ordre de succession, les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures et les éléments structurels (le matériel végétal, la densité de plantation, les équipements avec les abris, le palissage…). Le système de culture comprend trois composantes : la composante décisionnelle, la composante technique et la composante biophysique. (adapté de Sebillotte, 1990 ; Le Gal *et al,.* 2010)

Système de culture innovant

Un système de culture innovant est un système de culture conçu en vue d'atteindre des objectifs renouvelés, orientés vers des enjeux émergents et évalués sur les priorités des agriculteurs, des filières et de la société (Meynard., 2012). Le processus d'innovation consiste à construire de nouvelles combinaisons de techniques et de cultures existantes, ainsi qu'à introduire des techniques et cultures nouvelles.

Technique

Une technique est une acte et une décision pour atteindre un but (Haudricourt *et al.*, 1987).

Références Bibliographiques

Acosta-Alba I. and van der Werf H-M-G., 2011, The Use of Reference Values in indicator-Based Methods for the Environmental Assesment of Agricultural Systems. Sustainability, n°3, pp. 424-442.

Attoumani-Ronceux A., Aubertot J-N., Guichard L., Jouy L., Mischler P., Omon B., Petit M.S., Pleyber E. Reau R., Seiler A., 2011, Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. Application aux systèmes de polyculture. Ministères chargés de l'agriculture et de l'environnement, RMT Systèmes de culture innovants, 165 pages.

Aubertot J. N., Robin M.H., 2013, Injury Profile SIMulator, a qualitative aggregative modelling framework to predict crop injury profile as a function of cropping practices, and the abiotic and biotic environment. I. Conceptual bases, PLoS one, 8(9), e73202.

Berti A., Marta A.D., Mazzoncini M., Tei F., 2016, An overview on long-term agro-ecosystem experiments : Present situation and future potential, European journal of agronomy, 77, pp. 236–241.

Berthier C., Barbier J-M., Constant N., Davidou L., Delière L., Guisset M., Jacquet O., Lafond D., Panon M-L., Sauvage D., 2011, CEPVITI Co-conception de systèmes viticoles économes en produits phytosanitaires, Guide méthodologique, 76 pages.

Bergez J.E., Colbach N., Crespo O., Garcia F., Jeuffroy M.H., Justes E., Loyce C., Munier-Jolain N., Sadok W., 2010, Designing crop management systems by simulation, Europ. J. Agronomy, n° 32, pp. 3–9.

Bockstaller C., Girardin P., van der Werf H-M-G., 1997, Use of agroecological indicators for the evaluation of farming systems, European J. Agronomy, n° 7, pp. 261–270.

Bockstaller C., Guichard L., Makowski D., Aveline A., Girardin P., Plantureux S., 2008, Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems, A review, Agronomy for Sustainable Development, n°28, pp. 139-149.

Bockstaller C., Feschet P., Angevin F., 2015, Issues in evaluating sustainability of farming systems with indicators, OCL Oléagineux, corps gras, lipides, 22 (1), D102.

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

Bruchon L., Le Bellec F., Vanniere H., Ehret P., Vincenot D., De Bon H., Marion D., Deguine J.P., 2015, Guide Tropical – Guide pratique de conception de systemes de culture tropicaux économes en produits phytosanitaires, Le Bellec F. (Ed.), CIRAD, Paris, 210 pages.

Cady F.B., 1991, Experimental design and data management of rotation experiments, Agronomy journal, 83, pp.50-56.

Cerf M., Omon B., Barbier C., David O., Delbos C., Gagneur C.A., Guillot M.N., Lusson J.M., Mischler P., Olry P., Petit M.S., 2012, Les métiers d'agent de développement agricole en débat : Comment accompagner des agriculteurs qui changent leur façon de cultiver en grandes cultures ?, Innovations Agronomiques, 20, pp. 101-121.

Cerf M., Omon B., Guillot M.N., Olry P., Petit M.S., 2013, Guide « L'Agroseil » - Vademecum pour échanger sur le métier de conseiller ou animateur en agronomie, RMT Systèmes de cultures innovants, 64 pages.

Collectif, 1996, Expérimenter sur les conduites de cultures : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation, DERF – ACTA, Comité potentialités, Paris, 130 pages.

Commission mondiale sur l'environnement et le développement, Notre avenir à tous, 1987, Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, Oxford University Press, 349 pages.

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, pp.35-48.

Craheix D., Bergez J.E., Frédérique A., Bockstaller C., Bohanec M., Colomb B., Doré T., Fortino G., Guichard L., Pelzer E., Méssean A., Reau R., Sadok W., 2015, Guidelines to design models assessing agricultural sustainability, based upon feedbacks from the DEXi decision support system, Agronomy for Sustainable Development, pp. 1-17.

Debaeke P., Munier-Jolain N., Bertrand M., Guichard L., Nolot J.M., Faloya V., Saulas P., 2009, Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems : methodology and case studies, A review, Agronomy for Sustainable Development, 29, pp. 73-86.

Debaeke P., Petit M.S., Bertrand M., Mischler P., Munier-Jolain N., Nolot J-M, Reau R., Verjux N., 2008, Evaluation des systèmes de culture en stations et en exploitations agricoles : où en sont les méthodes. In Reau R., Doré T., (Eds.) 2008, Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri éditions, Dijon, France, pp.149-168.

Deytieux V., Munier-Jolain N., Caneill J., 2016, Assessing the sustainability of cropping systems in single- and multi-site studies, A review of methods, European journal of agronomy, 72, pp. 107-126.

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

Deytieux V., 2017, Performances de prototypes de systèmes de grandes cultures : Analyse d'un réseau expérimental, Thèse de doctorat de l'Université de Bourgogne Franche-Comté, 298 pages.

Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J., 2006. L'agronomie aujourd'hui. Quae, Versailles, 367 pages.

Drinkwater L., 2002, Cropping Systems Research Reconsidering Agricultural Experimental Approaches, HortTechnology, n°12, pp. 355-361.

Fiorelli C., Auricoste C., Meynard J-M., 2014, Concevoir des systèmes de production agro-écologiques dans les stations expérimentales de l'Inra : d'importants changements de référentiel professionnel pour les agents et les collectifs de recherche, Courrier de l'environnement de l'Inra, 64, pp. 57-68.

Girardin P., Bockstaller C., 1997, Les indicateurs agro-écologiques, outils pour évaluer des systèmes de culture : Développement durable et recherches agronomiques, OCL Oléagineux, corps gras, lipides, Vol. 4, 6, pp. 418-426.

Girardin P., Bockstaller C., Van Der Werf H.M.G., 1999, Indicators : Tools to evaluate the Environmental Impacts of Farming Systems, Journal of sustainable agriculture, 13, pp. 5–21.

Gras R., Benoît M., Deffontaines J.P., Duru M., Lafarge M., Langlet A., Osty P.L., 1989, Le Fait Technique en Agronomie : Activité Agricole, Concepts et Méthodes d'Etude, INRA, Ed. L'Harmattan, 183 pages.

Guichard, L., Ballot, R., Glachant, C., Aubert, C., 2013, PERSYST, a model for ex ante assessment of cropping systems performances, Adaptation to organic farming in the Ile-de-France region, Innovations Agronomiques, 32, pp.123-138.

Haudricourt A.G., 1987. La technologie, science humaine, Recherche d'histoire et d'ethnologie des techniques, Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 344 pages.

Henry A., Toupet A.L., Deytieux V., Reau R., 2012, Recueil et analyse critique des règles de décision pour la protection des cultures, Préfiguration du dispositif DECI Ecophyto, 490 pages.

Hill S.B., Mac Rae R.J., 1995, Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture, Journal of sustainable agriculture, 7 (1), pp. 81-87.

Jeuffroy M.H., Bergez J.E., David C., Flénet F., Gate P., Loyce C., Maupas F., Meynard J.M., Reau R., Surleau-Chambenoit C., 2008, Utilisation des modèles pour l'aide à la conception et à l'évaluation d'innovations techniques en production végétale : bilan et perspectives, Agronomie, 18, pp. 311-346.

Jolivet F., Navarre C.,1993, Grands projets, auto organisation, métarègles : vers de nouvelles formes de management des grands projets, Gestion 2000, 2, pp. 191-200.

Laget E., Guadagnini M., Plénet D., Simon S., Assié G., Billote B., Borioli B., Bourgouin B., Fratantuono M., Guérin A., Hucbourg B., Lemarquand A., Loquet B., Mercadal M., Parveaud C.E., Ramade L., Rames M.H., Ricaud V., Rousselou C., Sagnes J.L., Zavagli F., 2014, Guide pour la conception de systèmes de production fruitière économes en produits phytopharmaceutiques, GIS Fruits et Ministère de l'agriculture, Paris, 264 pages.

Lairez J., Feschet P., Aubin J., Bockstaller C., Bouvarel I., 2015, Evaluer la durabilité en agriculture, Guide pour l'analyse multicritère des productions animales et végétales. Quae/Educagri, Versailles, 232 pages.

Lançon J., Reau R., Cariolle M., Munier-Jolain N., Omon B., Petit M.S., Viaux P., Wery J., 2008, Elaborer à dire d'experts de systèmes de culture innovants, In Reau R., Doré T., (Eds.) 2008, Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri éditions, Dijon, France, pp. 91-107.

Lançon J., Wery J., Rapidel. B, Angokaye M., Gérardeaux E., Gaborel C., Ballo D., Fadegnon B., 2007, An improved methodology for integrated crop management systems, Agronomy for sustainable development, 27, pp. 101–110.

Launais M., Bzdrenga L., Estorgues V., Faloya V., Jeannequin B., Lheureux S., Nivet L., Scherrer B., Sinoir N., Szilvasi S., Taussig C., Terrentroy A., Trottin-Caudal Y., Villeneuve F., 2014, Guide pratique pour la conception de systèmes de culture légumiers économes en produits phytopharmaceutiques, Ministère chargé de l'agriculture, Onema, GIS PIClég, 178 pages.

Lechenet M., Deytieux V., Antichi D., Aubertot J.N., Bàrberi P., Bertrand M., Cellier V., Charles R., Colnenne-David C., Dachbrodt-Saaydeh S., Debaeke P., Doré T., Farcy P., Fernandez-Quintanilla C., Grandeau G., Hawes C., Jouy L., Justes E., Kierzek R., Kudsk P., Ram Lamichhane J., Lescourret F., Mazzoncini M., Melander B., Messéan A., Moonen A.C., Newton A. C., Nolot J.M., Panozzo S., Restaureau P., Sattin M., Schwarz J., Toqué C., Vasileiadis V.P., Munier-Jolain N., 2015, Diversity of methodologies to experiment Integrated Pest Management in arable cropping systems : analysis and reflections based on a European network, European journal of agronomy, 83, pp. 86-99.

Le Gal P.Y., Merot A., Moulin C. H., Navarrete M., Wery J., 2010, A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems, Environmental Modelling & Software, 25, pp. 258-268.

Lépicier D., Chémery J.B., Zakeossian D., Urbano G., Freycenon R., Rodriguez L., Romaine S., 2011, Guide méthodologique de l'évaluation accompagnée dans les Chambres d'Agriculture, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du territoire, 40 pages.

Lewandowksi I., Härtdlein M., Kaltschmitt M., 1999, Sustainable crop production definition and methological approach for assessing and implementing sustainability, Crop science, 39, pp. 184-193.

Lichtfouse E., Navarrete M., Debaeke P., Souchere V., Alberola C., Menassieu J., 2009, Agronomy for sustainable agriculture, A review, Agronomy for Sustainable Development, 29, pp. 1-6.

Loyce C., Félix I., Bouchard C., Mischler P., Omon B., Rolland B., Valantin-Morison M., 2008, Méthodes d'évaluation en réseau d'itinéraires techniques potentiellement innovants : nouveaux acquis opérationnels, In Reau R., Doré T., (Eds.) 2008, Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri éditions, Dijon, France, pp. 129-147.

Meynard J.M., Girardin P., 1991, Produire autrement, Courrier de l'environnement de l'INRA, 15, pp. 1-19.

Meynard J.M., Reau R., Robert D., Saulas P., 1996, Evaluation expérimentale des itinéraires techniques, In Collectif, 1996, Expérimenter sur les conduites de cultures : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation, DERF – ACTA, Comité potentialités, Paris, pp.63-72.

Meynard J.M., Doré T., Habib R., 2001, L'évaluation et la conception de systèmes de culture pour une agriculture durable, C.R. Académie d'agriculture, France, 87 (4), pp. 223-236.

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, 72 pages.

Meynard J.M., 2012, La reconception est en marche ! In « Vers des systèmes de culture innovants et performants : De la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former », Innovations Agronomiques, 20, pp. 143-153.

Meynard J.M., Dedieu B., Bos A.P., 2012, Re-design and co-design of farming systems, An overview of methods and practices, In Farming systems research into the 21st century : The New Dynamic (Darnhofer I., Gibon D., Dedieu B. eds), Springer, pp. 407-432.

Michel D., 2010. Evaluation et synthèse d'expérimentations au champ de systèmes de culture innovants, Comparaison de systèmes de référence, Etude de relations entre critères d'évaluation, Mémoire de fin d'études d'ingénieur, AgroParisTech, Chambre régionale d'agriculture de Bourgogne, 77 pages.

Mischler P., Hocdé H., Triomphe B., Omon B., 2008, Conception de systèmes de culture et de production avec des agriculteurs: partager les connaissances et les compétences pour innover, In Reau R., Doré T., (Eds.) 2008, Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri éditions, Dijon, France, pp. 71-89.

Mitchell G., May A, McDonald A., 1995, PICABUE : A Methodological Framework for the Development of Indicators of Sustainable Development, International Journal of Sustainable Development and Word Ecology, 2, pp. 104-123.

Nolot J.M., Debaeke P., 2003. Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. Cahiers Agriculture, 12, pp. 387-400.

Novak S., Delagarde R., Fiorelli J.L., 2012, Vers un système fourrager innovant en polyculture-élevage : la démarche initiée à Lusignan, Innovations Agronomiques, 22, pp. 159-168.

Novak S., Emile J. C., 2014, Associer des approches analytiques et systémiques pour concevoir un système laitier innovant : de la Fée à l'OasYs, Fourrages, 214, pp. 47-56.

Onofri A., Seddaiu G., Piepho H.P., 2016, Long-Term Experiments with cropping systems : Case studies on data analysis, European journal of agronomy, 77, pp. 223–235.

Payne R.W., 2015, The design and analysis of long-term rotation experiments, Agronomy Journal, 107, pp. 772–785.

Pelzer E., Fortino G., Bockstaller C., Angevin F., Lamine C., Moonen A.C., Vasileiadis V., Guérin D., Guichard L., 2012, Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi, Ecological indicator, 18, pp. 171-182.

Petit M.S., Reau R., Dumas M., Moraine M., Omon B., Josse S., 2012, Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil, Innovations Agronomiques, 20, pp. 79-100.

Plénet D., Simon S., Vercambre G., Lescourret F., 2010, Systèmes de culture en arboriculture fruitière et qualité des fruits, Innovations Agronomiques, 9, pp. 85-105.

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

Poulain C., Mollier P., Meynard J.M., 2012, Dossier Les champs du possible, INRA Magazine, 22, octobre 2012, pp. 13-24.

Reau R., Meynard J.M., Robert D. Gitton C., 1996, Des essais factoriels aux essais «conduites de culture», In Collectif, 1996, Expérimenter sur les conduites de cultures : un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation, DERF – ACTA, Comité potentialités, Paris, pp. 52-65.

Reau R., Dumas M., Moraine M., Omon B., Petit M.S., 2011, Produire des références contribuant à réduire l'usage des pesticides : le réseau de fermes de références et de démonstration d'Ecophyto 2018, Colloque Ecologisation des politiques et des pratiques agricoles, 16-18 mars 2011, in Napoléone C., Allaoua A.K. (coord.), 2014, Ecologisation des politiques publiques et des pratiques agricoles, Dossiers de l'environnement de l'Inra, n° 34, Paris, 154 pages.

Reau R., Monnot L.A., Schaub A., Munier-Jolain N., Pambou I., Bockstaller C., Cariolle M., Chabert A., Dumans P., 2012, Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs, Innovations agronomiques, 20, pp. 5-33.

Ricard J.M., Garcin A., Jay M., Mandrin J.F., 2012, Biodiversité et régulation des ravageurs en arboriculture fruitière, Collection hortipratic, 472 pages.

Schaub A., Toupet A.L., Deytieux V., Toqué C., Petit M.S., Cadoux S., Minette S., Vivier C., Geloen M., Massot P., Fonteny C., Reau R., 2016, Guide méthodologique « Décrire un système de culture expérimenté pour aider à son pilotage, faciliter son analyse et communiquer », Réseau expérimental du RMT Systèmes de culture innovants, 69 pages.

Schillinger W.F., 2010, Practical lessons for successful long-term cropping systems experiments, Renewable Agriculture and Food Systems, 26, 1, pp. 1-3.

Sebillotte M., 1974, Agronomie et agriculture, Essai d'analyse des tâches de l'agronome, Cahier Orstom, série biologie, 24, pp. 3-25.

Sebillotte M., 1990, Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes, Les systèmes de culture, Paris : Inra éditions, pp. 165–196.

Sebillotte M., Soler L.G., 1990a, Les processus de décision des agriculteurs – Première partie – Acquis et questions vives, In Brossier J. *et al.* (Eds.), Modélisation systémique et systèmes agraires, INRA, Paris, pp. 93-101.

Sebillotte M., Soler L.G., 1990b, Les processus de décision des agriculteurs – Deuxième partie – Conséquences pour les démarches d'aide à la décision, In Brossier J. *et al.* (Eds.), Modélisation systémique et systèmes agraires, INRA, Paris, pp. 103-117.

Vilain L., Boisset K., Girardin P., Guillaumin A., Mouchet C., Viaux P., Zahm F., 2008, La méthode IDEA – Indicateurs de durabilité, des exploitations agricoles – Guide d'utilisation, 3ème édition, Editions Educagri, Dijon, 184 pages.

Guide de l'expérimentateur système

Concevoir, conduire et valoriser une expérimentation système pour les cultures assolées ou pérennes

Le guide de l'expérimentateur système, co-réalisé par le GIS PIClég, le GIS Fruits, le réseau Ecoviti, le RMT Systèmes de culture innovants et le GIS Relance Agronomique, a pour objectifs de présenter et d'apporter une meilleure compréhension de la démarche d'expérimentation système aux expérimentateurs déjà engagés dans cette démarche ou souhaitant la mettre en œuvre, ainsi qu'à toute personne curieuse de la découvrir. Il est structuré en 6 parties illustrant les 6 étapes reconnues comme incontournables de la démarche d'expérimentation système, à savoir :

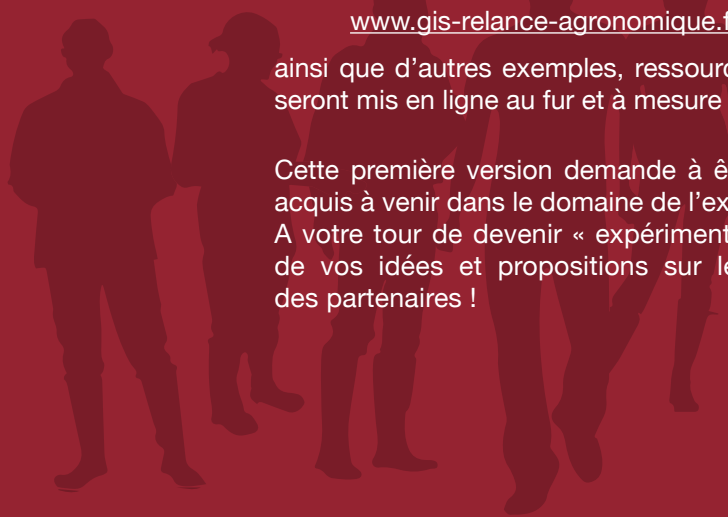
- Partie 1 Diagnostic et cadrage général de l'expérimentation système
- Partie 2 Conception de prototypes de systèmes de culture
- Partie 3 Construction de l'expérimentation
- Partie 4 Mise en œuvre pratique des systèmes de culture et de l'expérimentation
- Partie 5 Evaluation et analyse
- Partie 6 Valorisation des expérimentations système

Ce guide vous apportera un appui méthodologique et technique pour chacune des étapes de l'expérimentation. Il a été construit pour répondre aux questions et difficultés fréquemment rencontrées par les expérimentateurs en cultures assolées et pérennes. Il est illustré de nombreux exemples pratiques, schémas, photographies, graphiques … afin de vous faciliter sa compréhension et son appropriation. Il est disponible en ligne sur les sites internet des partenaires :

www.picleg.fr
www.gis-fruits.org
www.vignevin.com
www.systemes-de-culture-innovants.org
www.gis-relance-agronomique.fr

ainsi que d'autres exemples, ressources et productions en complément, qui seront mis en ligne au fur et à mesure de leur création.

Cette première version demande à être enrichie de vos expériences et des acquis à venir dans le domaine de l'expérimentation système …
A votre tour de devenir « expériment'acteurs » et n'hésitez pas à faire part de vos idées et propositions sur les espaces dédiés des sites internet des partenaires !



ISBN 2-7380-1400-3
9 782738 014009