HAL
open science

Démarches de conception-évaluation participatives pour accompagner les acteurs locaux dans l'émergence de systèmes agricoles innovants : cas de l'adaptation au changement climatique et pour la réduction des pesticides

Laure Hossard

To cite this version:

Laure Hossard. Démarches de conception-évaluation participatives pour accompagner les acteurs locaux dans l'émergence de systèmes agricoles innovants : cas de l'adaptation au changement climatique et pour la réduction des pesticides. Agronomie. Université de Montpellier, 2022. tel-03813415

HAL Id: tel-03813415

https://hal.inrae.fr/tel-03813415

Submitted on 13 Oct 2022

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.

HABILITATION A DIRIGER LES RECHERCHES

École Doctorale GAIA

Université de Montpellier

Démarches de conception-évaluation participatives pour accompagner les acteurs locaux dans l'émergence de systèmes agricoles innovants : Cas de l'adaptation au changement climatique et pour la réduction des pesticides

Laure Hossard, Chargée de Recherche

INRAE, UMR Innovation

Mémoire présenté pour l'Habilitation à Diriger des Recherches
Déposé en avril 2022, autorisé à défendre en septembre 2022 et soutenu le 19 septembre 2022

Membres du Jury :

Marie-Hélène Jeuffroy (Examinatrice), Delphine Leenhardt (Présidente du Jury), Guillaume Martin (Rapporteur), Lorène Prost (Rapporteure), Olivier Therond (Rapporteur), Jacques Wéry (Examinateur)

" Je déclare avoir respecté, dans la conception et la rédaction de ce mémoire d'HDR, les valeurs et principes d'intégrité scientifique destinés à garantir le caractère honnête et scientifiquement rigoureux de tout travail de recherche, visés à l'article L.211-2 du Code de la recherche et énoncés par la Charte nationale de déontologie des métiers de la recherche et la Charte d'intégrité scientifique de l'Université de Montpellier. Je m'engage à les promouvoir dans le cadre de mes activités futures d'encadrement de recherche."

Table des matières

Remerciements _____ *7*

Avant-propos _____ *9*

1 Curriculum Vitae, Encadrements, Projets et Publications _____ *10*

1.1 CURRICULUM VITAE _____ **11**

1.2 ENCADREMENT SCIENTIFIQUE _____ **12**

1.3 ANIMATION DE LA RECHERCHE _____ **14**

1.4 ENSEIGNEMENTS _____ **15**

1.5 EXPERTISES _____ **15**

1.6 CONTRATS DE RECHERCHE _____ **17**

1.7 COLLABORATIONS _____ **19**

1.8 PUBLICATIONS _____ **20**

2 Synthèse de mes travaux de recherche : démarches participatives de conception-évaluation de systèmes innovants agricoles pour s'adapter aux enjeux actuels et futurs _ *29*

2.1 SYNTHESE DE MON PARCOURS _____ **30**

2.2 ENJEUX, CADRAGE THEORIQUE, PROBLEMATIQUE ET DEMARCHE DE RECHERCHE ____ **33**

2.2.1 Pourquoi concevoir de nouveaux systèmes agricoles ? _____ 33
2.2.2 Pourquoi concevoir des systèmes agricoles innovants avec les parties prenantes ? _____ 35
2.2.3 Méthodes de conception-évaluation _____ 36
2.2.4 Problématique et posture de recherche _____ 39
2.2.5 Caractéristiques génériques des démarches mobilisées dans mes travaux _____ 42
2.2.6 Application de la démarche à six cas d'étude _____ 49

2.3 ACTIVITES DE RECHERCHE SUR LA CONCEPTION ET L'EVALUATION PARTICIPATIVES DE SYSTEMES AGRICOLES _____ **53**

2.3.1 La gestion du phoma du colza dans des territoires céréaliers _____ 53
2.3.2 Les systèmes rizicoles en Camargue face au changement climatique _____ 60
2.3.3 Les systèmes lavandicoles du Plateau de Valensole face au changement climatique _____ 68
2.3.4 Les systèmes agricoles dans la Plaine du Saïss (Maroc) _____ 76
2.3.5 Les systèmes viticoles du bassin versant du Rieutort face au changement climatique _____ 82
2.3.6 Les systèmes viticoles du bassin versant du Rieutort face à l'enjeu de réduction des impacts des pesticides _____ 89
2.3.7 Mon bilan personnel _____ 97

2.4 ANALYSE REFLEXIVE DE MES TRAVAUX _____ **102**

2.4.1 Place et rôle des outils pour l'évaluation : Objectif _____ 102
2.4.2 Place et rôle des parties prenantes : Participatif _____ 104
2.4.3 Sorties des démarches de conception et évaluation participatives : Produits _____ 108

3 Projet de recherche _____ *111*

3.1 INTRODUCTION _____ **112**

3.1.1 1ère inflexion : favoriser la créativité des parties prenantes dans la conception de systèmes agricoles innovants _____ 112

3.1.2 2ème inflexion : caractériser les capacités d'adaptation des exploitations agricoles pour les intégrer dans la scénarisation 114
3.1.3 3ème inflexion : des outils favorisant les interactions entre parties prenantes, et entre parties prenantes et outils 115
3.1.4 Problématique 117

3.2 DEMARCHE DE RECHERCHE 117
3.2.1 Connaissances pour la conception 118
3.2.2 Outils d'exploration pour concevoir des adaptations à différents horizons de temps 119

3.3 PROJETS AU SERVICE DE LA RECHERCHE 121
3.3.1 Actions à court et moyen termes 121
3.3.2 Actions à plus long terme et perspectives 126

4 Conclusion 128

5 Bibliographie 129

6 Tirés à part 141

Liste des Figures

Figure 1. Étapes de mon parcours, principaux enjeux (Phyto : réduction des usages et impacts des produits phytosanitaires ; CC : adaptation au changement climatique), systèmes, étapes (D : Diagnostic, C : Conception, E : Évaluation), outils, parties prenantes, projets et partenaires pour la co-conception de systèmes. 32
Figure 2. Objectifs et méthodes des trois étapes de ma démarche. Images libres de droit. 43
Figure 3. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes céréaliers. Photo libre de droits. 55
Figure 4. Exemples de simulations des tendances Augmentation de la demande en diester et Augmentations des subventions pour les protéagineux, région Centre. 57
Figure 5. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes agricoles adaptés au changement climatique en Camargue. Photo S. Delmotte. 63
Figure 6. Utilisation des terres au niveau régional pour la situation de référence et pour les deux scénarios considérant un changement climatique fort, avec la superficie cultivée, entre parenthèses (ACL18). 65
Figure 7. Performances socio-économiques (A, B) et environnementales (C, D) des deux scénarios (scénario C : A, C ; scénario D : B, D) au regard de la situation de référence (ACL18) 66
Figure 8. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes agricoles adaptés au changement climatique à Valensole. Photo C. Tardivo. 71
Figure 9. Résultats des simulations pour les scénarios de référence, « stratégies opposées » et « spécialisation », en termes (a) de cultures cultivées et (b) de performances, pour un hectare régional moyen. 74
Figure 10. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes agricoles dans la plaine du Saïss. 78
Figure 11. Exemple de carte cognitive pour le type d'exploitation FT3 pour la situation actuelle (A) et future (B), sous le facteur principal du changement climatique (ACL4). 79
Figure 12. Indicateurs de performance d'un type d'exploitations agricoles (FT3) actuels (en noir) et futurs (en rouge). 0 = très faible ; 5 = très élevé ; ACL4. 80
Figure 13. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes viticoles adaptés au changement climatique sur le bassin du Rieutort. Photo S. Chaix. 84
Figure 14. Évolution de la production de la vigne sous le scénario RCP 8.5 pour les périodes 2031-2060 et 2071-2100 par rapport à la période historique (1981-2010) : (A) variation du rendement moyen par secteurs de production et (B) volume annuel moyen de production et besoins en eau associés (nombre de gouttes). 86
Figure 15. Classement des leviers par les parties prenantes selon leur souhaitabilité et leur faisabilité (Naulleau et al., soumis). 87
Figure 16. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes viticoles visant à réduire les usages et impacts des pesticides. Photo S. Chaix. 92
Figure 17. Éléments composant le jeu. FT = Type d'exploitation agricole. 93
Figure 18. Évaluations à l'échelle du bassin versants pour les trois sessions (W#2A correspond au groupe de parties prenantes régionales, W#2B aux groupes de parties prenantes locales). 94
Figure 19. Fonctions des outils d'évaluation mobilisés dans mes travaux. 103
Figure 20. Étapes proposées pour la construction et la mobilisation d'un modèle multi-agent adapté au territoire et au service de la réflexion des parties prenantes pour concevoir des systèmes agricoles résilients. 120
Figure 21. Méthodes proposées pour stimuler la conception de stratégies viticoles à faibles usages de fongicides 123

Liste des Tableaux

Tableau 1. Liste des encadrements de stages M2, ingénieur agronome, et Master of Science. 13
Tableau 2. Liste des projets en cours, financements, partenaires et rôle au sein du projet. Les budgets correspondent au montant de la subvention du projet. 17
Tableau 3. Liste des projets terminés, financements, partenaires et rôle au sein du projet. Les budgets correspondent au montant de la subvention du projet. 18
Tableau 4. Principales caractéristiques des méthodes mises en œuvre dans les démarches participatives de mes cas d'études présentés dans les résultats..... 52
Tableau 5. Futurs imaginés et leviers mobilisés dans différents futurs construits par les collectifs de parties prenantes lors de l'étape de construction de scénarios..... 56
Tableau 6. Principaux facteurs de changement pour l'élaboration des scénarios (ACL18). 64
Tableau 7. Principaux facteurs de changement à Valensole, avec leur fréquence de citation (ACL1). 73
Tableau 8. Caractéristiques des méthodes et produits des démarches participatives..... 107

Liste des Encadrés

Encadré 1. Efficacité de la distance d'isolement du champ, de la pratique du travail du sol, du type de cultivar et de la rotation des cultures dans la lutte contre le phoma sur le colza oléagineux (ACL11)..... 56
Encadré 2. Méthodes et apports des travaux de télédétection pour l'étape de diagnostic 62
Encadré 3. Évaluation des rendements du riz sous différentes hypothèses de changement climatique 62
Encadré 4. Narratif simplifié du scénario C « Vers une spécialisation des exploitations »..... 64
Encadré 5. Narratif simplifié du scénario D « La Camargue en zone à handicap spécifique »65
Encadré 6. Narratif simplifié commun des deux scénarios construits à Valensole..... 73
Encadré 7. Quantification de l'impact des pratiques de protection des cultures sur l'utilisation des pesticides dans les systèmes viticoles (ACL15). 90

Remerciements

Je soutenais ma thèse il y a presque dix ans, et la première personne que je remerciais pour son accompagnement était Marie-Hélène Jeuffroy, ma directrice de thèse. Les premiers remerciements de ma demande d'HDR lui sont également adressés : Marie-Hélène, un grand merci pour tes nombreux commentaires éclairants, pour tes demandes de clarification, de meilleure formalisation, en particulier de mon rôle dans mes travaux de recherche.

Je tiens ensuite à remercier Aurélie Métay pour ses très nombreux retours de qualité, et toujours dans des délais records (week-end compris) ! Merci Aurélie de m'avoir donné confiance en m'assurant que mon dossier initial « tenait la route ».

Je remercie toutes celles et tous ceux qui ont contribué, par des projets communs ou des discussions informelles, à initier ma réflexion sur mon projet de recherche à venir, en particulier Guy Trébuil, Christophe Le Page, Nadine Andrieu, Sylvestre Delmotte, Stéphane de Tourdonnet, Nina Graveline, Marie Thiollet-Scholtus et Servane Penvern. Je remercie tout particulièrement Jean-Marc Barbier pour son accompagnement bienveillant et formateur de mes premières années à Innovation.

Je remercie bien sûr tous les acteurs des territoires, en particulier les agriculteurs, sans lesquels mes travaux n'existeraient pas. Un grand merci aux partenaires des Chambres d'agriculture, de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, de la FREDON, des PNR de Camargue et du Verdon, de l'EPTB Orb et Libron, du CRIEPPAM, de l'IFV, de la cave coopérative du Rieutort, des syndicats AOP Saint-Chinan et Faugères, pour votre confiance et vos éclairages toujours pertinents.

Je remercie toutes les étudiantes et tous les étudiants que j'ai eu la chance d'encadrer. Je tiens en particulier à remercier, pour la grande qualité de leur travail : Audrey Naulleau, Claire Schneider, Soizic Guimier, Thibault Lefeuvre, Maryline Darmaun et Clémence Bénézet. J'espère sincèrement avoir l'occasion de retravailler avec vous. Je remercie en miroir les chercheurs dont l'encadrement conjoint a permis ces travaux : Christian Gary, Laurent Prévot, Mireille Navarette, Serge Leblanc, Stéphane de Tourdonnet, Tiphaine Chevallier et Hatem Belhouchette.

Je remercie également tou.te.s mes collègues de l'UMR Innovation et du collectif des agronomes du département ACT pour le partage, l'écoute et la bienveillance des échanges. Un remerciement particulier à Jean-Marc Touzard pour ses encouragements.

Enfin, et évidemment, un grand merci à celles et ceux qui m'ont encouragée de manière constante, même pendant mes moments de dépit : Delphine (merci pour les corrections de dernière minute !), Amandine et Aude pour le côté pro-perso (et inversement), Caro, Jaïna et ma famille pour le côté personnel.

Avant-propos

Chercheure en Agronomie à INRAE UMR Innovation depuis février 2014, je développe des recherches pour concevoir et évaluer des systèmes agricoles innovants avec les acteurs locaux, permettant de faire face à deux enjeux principaux : (i) le changement climatique et (ii) la réduction de l'usage et de l'impact des produits phytosanitaires.

Deux raisons principales motivent mon souhait d'être habilitée à diriger les recherches. Je souhaite, d'une part, que mes compétences (et mon goût) pour l'encadrement soient reconnues. Tout en faisant progresser mes recherches, mes expériences d'encadrement de stagiaires ou de doctorantes m'ont permis d'améliorer mes pratiques d'encadrement, en adaptant mes méthodes aux besoins (évolutifs dans le temps) des étudiant.e.s. Je souhaite désormais accompagner des doctorant.e.s dans l'acquisition de savoirs et de compétences sur des sujets de thèses que je propose, en cohérence avec le projet de recherche que je défends dans ce document.

Concernant la seconde raison, la constitution de ce dossier d'HDR est pour moi l'opportunité de faire un bilan réflexif sur ma carrière et mes choix passés, et de bénéficier du regard critique de chercheurs expérimentés. La construction d'un nouveau projet est également très stimulante pour orienter mes recherches dans les années à venir, m'aider à faire des choix, et là aussi discuter de la pertinence de mes propositions avec les membres du jury. Ces critiques, j'en suis sûre, me permettront d'alimenter ma réflexion, ma créativité et ma réflexivité, et ainsi de mener à bien des recherches pertinentes et originales du point de vue scientifique (méthodes de conception et d'évaluation participatives) et du point de vue des enjeux sociétaux (enjeux de l'adaptation au changement climatique et de la réduction des impacts des pesticides).

J'ai organisé ce document en trois parties. La 1ère partie présente mon CV, les projets auxquels j'ai participé, mes publications et co-encadrements d'étudiants, ainsi que les collectifs que je co-anime. La 2ème partie présente une synthèse de mes travaux de recherche, incluant mon cadrage théorique, ma problématique, ma démarche de recherche, et son application sur six cas d'études. Cette partie inclut également un bilan personnel et une analyse réflexive de mes travaux de recherche. La 3ème partie présente mon projet de recherche, la démarche que je souhaite mettre en œuvre, et les projets sur lesquels je souhaite m'appuyer ou construire.

1 Curriculum Vitae, Encadrements, Projets et Publications

1.1 CURRICULUM VITAE

Laure Hossard
laure.hossard@inrae.fr
39 ans
Nationalité Française

Expériences professionnelles

Depuis 2014	INRAE, UMR 0951 Innovation, Montpellier, **Chargée de Recherches**
2016 (10 mois)	CNR IREA et Cassandra Lab (Université de Milan), Milan (Italie), **Séjour post-doctoral**
2013-2014 (13 mois)	INRAE, UMR 2011 Agronomie, Grignon, **Post-Doctorat Contrat Jeune Scientifique**
2009-2012	INRAE, UMR 2011 Agronomie et UMR 1048 SADAPT, Grignon, **Thèse Contrat Jeune Scientifique**
2008-2009 (7 mois)	Université de Wageningen, Farming System Ecology Group, Wageningen (Pays-Bas), **Thèse de Master**
2007-2008 (10 mois)	INRAE, UMR 1248 AGIR, Toulouse, **CDD Ingénieur**
2007	INRAE, UMR 1248 AGIR, Toulouse, **Stage de fin d'études d'ingénieur**
2006	Université de Wageningen, Plant Production System Group & Institut Ari-Maruku, Wageningn (Pays Bas) & Bukoba (Tanzanie), **Stage de Master 1**

Qualifications

2012	**Doctorat en Agronomie**, AgroParisTech, Paris, sous la direction de Marie-Hélène Jeuffroy et Véronique Souchère
2009	**Master en Plant Sciences**, Université de Wageningen, Wageningen (Pays-Bas)
2007	**Diplôme d'Ingénieur agricole**, ISARA, Lyon

Formations complémentaires

2021	**École chercheurs** Conception Innovante (1 semaine)
2021	**Formation pratique** Concevoir, faciliter et évaluer un processus de concertation territoriale (3 jours)
2016	**École chercheurs** Paysage et santé des plantes : analyser, comprendre et modéliser les processus écologiques en jeu (1 semaine)
2015	**École chercheurs** La Modélisation d'Accompagnement : Mettre des acteurs en situation pour partager des représentations et simuler des dynamiques (1 semaine)
2013	**École chercheurs** BioBayes : Méthodes statistiques bayésiennes, bases théoriques et applications en alimentation, environnement et épidémiologie (1 semaine)
2010	**École chercheurs** Analyse de sensibilité et exploration de modèles (1 semaine)

1.2 ENCADREMENT SCIENTIFIQUE

Thèses

Audrey Naulleau (INRAE, UMR ABSys**, Lisah et Innovation), nov 2018-dec 2021**
Titre : Co-construction et évaluation de stratégies d'adaptation au changement climatique d'un vignoble méditerranéen
2 publications internationales et 3ème publication soumise. 2 publications de vulgarisation en Français. 2 communications dans des congrès internationaux
Thèse en Agronomie, **soutenue en décembre 2021**.
Direction Christian Gary (UMR ABSys, INRAE), Encadrement Laurent Prévot (UMR Lisah, INRAE) et Laure Hossard
Bourse Région et INRAE – Département AgroEcoSystem – Projet Laccave
Recrutement en 02/2022 au CIRAD, UMR Innovation

Clémence Bénézet (Université de Montpellier, LIRDEF et INRAE, UMR Ecodéveloppement et Innovation), oct 2019-sept 2023
Titre : Le travail du sol avec le cheval en viticulture : un vecteur de coopération entre acteurs et d'apprentissages favorables à la transition agroécologique ?
2 communications dans des congrès internationaux
Thèse en Sciences de l'Éducation
Direction Serge Leblanc (LIRDEF, Université de Montpellier Paul Valéry 3) et Mireille Navarrete (UR Ecodéveloppement, INRAE), Encadrement Laure Hossard
Thèse financée par l'IFCE (Institut Français du Cheval et de l'Équitation), à mi-temps sur 4 ans

Maryline Darmaun (INRAE, UMR ABSys **et Innovation, IRD UMR Eco&Sols), fev 2020 – fev 2023**
Titre : Evaluation multicritère d'initiatives agroécologiques
Thèse en Agronomie
Direction Stéphane de Tourdonnet (UMR ABSys, Institut Agro Montpellier), Encadrement Tiphaine Chevallier (UMR Eco&Sols, IRD) et Laure Hossard
Thèse financée par le projet AVACLIM porté par l'association CARI (Centre d'Actions et de Réalisations Internationales)

J'ai également participé à l'encadrement de deux thèses, qui avaient débuté avant mon arrivée à l'UMR Innovation :

- Florine Mailly (2012-2015, thèse non soutenue) : Concilier réduction de l'usage des produits phytosanitaires et consommation énergétique. Évaluation des systèmes techniques combinant performances agronomiques et environnementales en viticulture ; 1 article. Direction Christian Gary (UMR ABSys, INRAE), Encadrement Jean-Marc Barbier (UMR Innovation, INRAE) et Marie Thiollet-Scholtus (URM LAE, INRAE)
- Caroline Tardivo (2012-2016) : La modélisation collaborative pour stimuler l'émergence d'un système agricole plus durable. Conception et mise en œuvre d'une démarche sur le plateau de Valensole ; 1 article. Direction Christophe Le Page (UR Sens, CIRAD), Encadrement Jean-Marc Barbier (UMR Innovation, INRAE) et Sylvestre Delmottte (UMR Innovation, INRAE)

Stages

Tableau 1. Liste des encadrements de stages M2, ingénieur agronome, et Master of Science.

Nom	Origine	Année	Diplôme préparé	Sujet de stage	Encadrement
Marlène DESMAU	Univ. Versailles-Saint Quentin	2011	M2 Sciences de l'Environnement, du Territoire et de l'Economie	Application d'une méthode participative de co-construction de scénarios avec l'exemple d'une maladie fongique, le phoma du colza	Co-encadrement M.H. Jeuffroy, UMR Agronomie
Rémi RESMOND	Univ. Montpellier	2015	M2 Statistique des Sciences de la vie et de la santé	Effets des pratiques culturales et du climat sur le rendement du riz en Camargue	Unique
Marc ARNAUD	AgroSup Dijon	2015	Ingénieur agronome	Les changements de contexte et leurs conséquences pour les exploitations agricoles, entre objectifs environnementaux et productifs. Cas du bassin de Fumemorte en Camargue	Unique
Soizic GUIMIER	Agrocampus-Ouest	2015	Ingénieur agronome	Exploration multi-échelle du dépérissement du lavandin : influence des pratiques agricoles et de l'environnement paysager, plateau de Valensole	Unique
Soukaina HITANE	CIHEAM-IAM	2017-2018	Master of Science	Modélisation bioéconomique pour évaluer la performance à l'échelle de l'exploitation agricole : Cas d'une exploitation du plateau de Valensole	Co-encadrement H. Belhouchette, UMR ABSys
Thibault LEFEUVRE	Institut Agro Montpellier	2018	Ingénieur agronome	Étude de la contribution de la diversité des cultures et des activités agricoles à la résilience des agrosystèmes du plateau de Valensole	Unique
Santiago MEDINA-KENNEDY	Fac. Géographie et Aménagement Strasbourg	2018	M2 Observation de la Terre et Géomatique	Analyse des systèmes de culture de riz en Camargue et cartographie des principales pratiques culturales à l'aide d'images satellitaires	Co-encadrement D. Courault, UMR EMMAH
Elsa RICOTE-GONZALEZ	CIHEAM-IAM	2018	M2 Économie et Management Publics	Élaboration et évaluation de scénarios pour des systèmes agricoles plus résilients, cas de la plaine du Saïs, Maroc	Unique
Hiba MERZOUKI	CIHEAM-IAM	2019-2020	Master of Science	Analyse de la variabilité de l'efficience de l'azote chez le blé tendre dans la plaine du Saïs	Co-encadrement H. Belhouchette, UMR ABSys
Claire SCHNEIDER	Institut Agro Montpellier	2020	Ingénieur agronome	Caractérisation de l'usage des produits phytosanitaires, des leviers de réduction et de leurs déterminants dans un bassin viticole	Co-encadrement H. Fernandez-Mena, UMR ABSys

CDD Ingénieurs

Vincent Couderc, IE, 1 an. Développement et évaluation de scénarios d'évolution des systèmes agricoles Camarguais, projet Climatac et Scenarice.

Claire Schneider, IE, 1 an, en collaboration avec l'UMR ABSys. Développement et mise en œuvre d'un jeu sérieux sur les impacts des produits phytosanitaires en viticulture méridionale, projet Ripp-Viti.

Participation à des comités de thèse

6 comités de thèse : Boris Biao (Institut Agro Montpellier, UMR MOISA, Économie), Esther Fouillet (INRAE UMR ABSys, Agronomie), Laetitia Lemière (INRAE UMR ABSys, Agronomie), Emile Ndikumana (IRSTEA, UMR Tetis, Télédétection), Mickaël Perez (UMR ABSys et Coopérative Vinovalie, Agronomie), Julie Pitchers (UMR ABSys, Agronomie).

1.3 ANIMATION DE LA RECHERCHE

Animation de collectifs de recherche

Co-animation du groupe disciplinaire des agronomes du département ACT, **depuis Janvier 2021**, en binôme avec Marie Thiollet-Scholtus (UMR LAE) ; réunion bimestrielle pour (1) présenter les jeunes recrues et favoriser l'interconnaissance ; (2) discuter des projets en cours ou en construction ; (3) partager et discuter de méthodes ; (4) participer à l'identification et à la construction de fronts de recherche ; (5) répondre aux demandes du département, notamment pour le schéma stratégique du département ACT.

Co-animation du collectif ACTINA de l'UMR Innovation, **depuis Septembre 2021**, en binôme avec Nadine Andrieu (CIRAD) ; réunion mensuelle pour (1) partager nos travaux, en particulier ceux des thésard.e.s et CDD ; (2) construire notre trajectoire collective et notre originalité ; (3) travailler les demandes de postes ; (4) accompagner les jeunes recrues dans les 1er travaux (stratégie de recherche, expatriation) ; (5) construire des projets ; (6) répondre aux demandes de la direction.

Co-animation du groupe CLIMAT sur le Changement Climatique de l'UMR Innovation, **depuis mars 2021**, en trinôme avec Nina Graveline (INRAE, économiste) et Nadine Andrieu (CIRAD, agronome) ; 2 réunions annuelles et un séminaire interne pour (1) partager nos travaux ; (2) mettre en lumière et porter notre originalité ; (3) construire des projets communs.

Participation à des conseils scientifiques

Conseil scientifique du département ACT, membre élue en binôme avec Marc Moraine (UMR Innovation), **depuis 2020**. Deux sessions annuelles. Avis sur des demandes de poste, de thèse et sur les projets scientifiques

Conseil scientifique de l'ITEPMAI, membre nommée, **depuis 2020**. Deux réunions annuelles (+ avis ponctuels). Avis sur la stratégie, les objectifs et réalisations annuelles.

Conseil scientifique de l'UE Alenya Maraîchage, **depuis 2022**. Une réunion annuelle (non encore effectif).

Participation à des réseaux d'experts

Réseau IDEAS (Institute for Design in Agrifood Systems), INRAE & AgroParisTech ; depuis décembre 2021 ; participation aux réunions pour me former sur les méthodes ; réunion bimestrielle
Association Française d'Agronomie ; élue au Conseil d'Administration depuis 2017 (3 réunions par an) ; trésorière depuis 2018 (membre du bureau, 1 réunion par mois)

1.4 ENSEIGNEMENTS

Institut Agro Montpellier, Module RESAD, depuis 2015. Encadrement d'enquêtes collectives sur Conception et Accompagnement du changement technique dans l'exploitation agricole pour les M2, diplôme d'Ingénieur. Avec Isabelle Michel (UMR Innovation)

Université Montpellier III, M2 Territorialités et développement, Module Approche systémique et modélisation, 2015. Cours sur Modélisation et démarches participatives. Avec Pierre Gasselin (UMR Innovation)

Parcours formation continue « Conseiller demain », 2011. Quelle marge de manœuvre pour la gestion des bioagresseurs à l'échelle du paysage ?

ESA Angers, Module Méthodes pour concevoir et évaluer des systèmes innovants, 2010-2011. Cours sur Modélisation et protection intégrée pour les M2, diplôme d'Ingénieur.

1.5 EXPERTISES

Revues

Sur sollicitation des éditeurs, je fais régulièrement le travail de reviewing pour des journaux internationaux, et, dans une moindre mesure, nationaux.

Internationales (total période 2013- mars 2022)

Agricultural and Forest Meteorology (1)
Agricultural Systems (3)
Agronomy for Sustainable Development (6)
Agronomy Journal (2)
Applied Geography (1)
Bulletin of Entomological Research (1)
Environmental Earth Science (1)
Environmental Modelling and Software (1)
Environmental Science and Pollution Research (1)
European Journal of Agronomy (3)
European Journal of Plant Pathology (1)
Journal of Cleaner Production (3)
Journal of Environmental Management (16)
Journal of Plant Diseases and Protection (1)
Mediterranean Journal of Chemistry (1)
Nature Communications (1)
Nutrient Cycling in Agroecosystems (1)
Plos One (1)
Regional Environmental Change (1)

Françaises

Agronomie, Environnement et Sociétés (de l'Association Française d'Agronomie) (4) ; Cahiers Agriculture (1) ; Systèmes alimentaires – Food Systems (1)

Éditrice associée de la revue Agronomy for Sustainable Development (depuis 2022)

Jurys

2022 : Jury de recrutement Chercheur CIRAD en agronomie systémique et analyse de pratiques des exploitations avec cultures pérennes. Département PERSYST

2021 : Jury de recrutement CR INRAE en agronomie, (1) l'évaluation en agronomie territoriale des systèmes agri-alimentaires à l'échelle régionale ; (2) agronomie pour l'Innovation ouverte ; (3) Conception participative de méthodes innovantes de gestion de l'azote dans les systèmes agricoles. Départements ACT et AgroEcoSystem

2020 : Jury de recrutement Chercheur CIRAD en agronomie, pour la conception participative de systèmes de cacaoculture agroforestière. Département PERSYST

2019 : Jury de recrutement CR INRAE en agronomie et en zootechnie, (1) Conception d'innovations couplées pour des systèmes agri-alimentaires durables ; (2) Conception de systèmes d'élevage pastoraux méditerranéens ; (3) Intégration cultures-élevages dans les territoires. Départements ACT, AgroEcoSystem et PHASE

2018 : Jury de recrutement Chercheur CIRAD en agronomie, spécialiste de la co-conception des systèmes de culture durables appliquée à la riziculture de bas-fonds. Département PERSYST

2018 : Jury de recrutement IR INRAE en agronomie, sur l'évaluation de systèmes agri-alimentaires territorialisés. Département ACT

Évaluation de Projets

Rapporteure pour l'obtention d'une bourse de thèse du département ACT INRAE (2021)

Rapporteure pour un projet de l'appel à projet Ecophyto Maturation 2019 de l'Agence Nationale de la Recherche (2019)

Rapporteure pour le projet DataPoC Challenges Numériques, Programme d'Investissement d'Avenir (2017)

Rapporteure pour l'appel à propositions du CTPS Variétés, Semences et Plants adaptés à l'agriculture durable de demain (2011)

1.6 CONTRATS DE RECHERCHE

En cours

Tableau 2. Liste des projets en cours, financements, partenaires et rôle au sein du projet. Les budgets correspondent au montant de la subvention du projet.

Titre	Financement	Partenaires	Années	Participation
AnZAR (Colloquium on Agroecology in North Africa)	Agropolis Fondation (20 k€)	UMR G-Eau (CIRAD), INAT Tunisie, CREAD Algérie	2021-2022	**Co-coordination du projet**
BE-CREATIVE (Build Pesticide-free Agroecosystems at territory level)	PPR Cultiver et Protéger autrement, ANR (2,7 M€)	UMR Agronomie, UMR Sadapt, UR Ecodéveloppement, UMR CESCO, UMS MOSAIC, UMR LAE, UMR Agroécologie, U2E Domaine d'Epoisses, UE Gotheron, UMR ABSys, UMR Ecosys, ETBX, ENSCI-CRD, ISARA	2021-2026	**Co-coordination du WP** « Créer : imaginer des territoires productifs sans pesticide avec les acteurs »
BIODIVERSIFY (Boost ecosystem services through high Biodiversity-based Mediterranean Farming Systems)	PRIMA, ANR (1,2 M€)	UMR ABSys (CIRAD), ENSA Algérie, Université de Lleida Espagne, Leibniz Center for Agricultural Landscape Research Allemagne, CREA Italie, Aristotle Université de Thessalonique Grèce, Caussades Semences Groupe, Institut de l'Olivier de Sfax Tunisie	2020-2023	**Coordination principale du WP** « Co-conception et co-évaluation des systèmes de culture traditionnels et très diversifiés »
CAFRUA (Challenges of Agriculture adaptation to Flood Risk in Urban Areas: synergies between flood protection, urban planning and peri-urban agriculture development)	Agropolis Fondation (190 k€)	UMR G-Eau (INRAE), UMR ART DEV, Université Paul Valéry	2022-2023	**Participation**
DECIDEP (Impact technico-économique du dépérissement des vignobles)	PNDV (259 k€)	UMR Save (Bordeaux Sciences Agro), UMR ABSys, UMR Aster, IFV	2020-2023	**Participation**
MO-OM Agri (Modéliser pour Observer – Observer pour Modéliser)	Key Initiative MUSE WATERS (62 k€)	UMR G-Eau (INRAE)	2021-2022	**Participation**
RIPP-VITI (Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale)	Ecophyto AFB Leviers Territoriaux (280 k€)	UMR Lisah, UMR ABSys, UMR Ecosys, UMR ITAP, Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie, Captages Occitanie, EPTB Orb & Libron, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, IFV	2020-2023	**Coordination du WP** « Élaboration et test de stratégies durables d'organisation territoriale en milieu viticole »
VIANA (Vulnerabilities and adaptive capacities of Irrigates Agriculture in North Africa)	ANR ERA-NET ARIMNET2 Jeunes Chercheurs (300 k€)	UMR G-Eau (CIRAD), Univ. Khemis Miliana Algérie, CREAD Algérie, Ecole d'Ingénieurs de Purpan, Univ. Ain Chock Maroc, INAT Tunisie	2018-2022	**Participation**

Terminés

Tableau 3. Liste des projets terminés, financements, partenaires et rôle au sein du projet. Les budgets correspondent au montant de la subvention du projet.

Titre	Financement	Partenaires	Années	Participation
CLIMATAC (Accompagnement des acteurs de Territoires agricoles pour l'Atténuation du Changement Climatique)	ADEME (187 k€)	UR Sens (CIRAD), Université de Wageningen	2013-2016	**Participation**
Évaluation participative, sous différents scenarios, de systèmes agricoles en Camargue intégrant la question du changement climatique et de la consommation énergétique	FranceAgriMer (30 k€)	Projet interne	2013	**Participation**
Évaluation multi-échelle et participative de systèmes agricoles camarguais	FranceAgriMer (39 k€)	Projet interne	2014	**Coordination**
Conséquences du changement climatique sur les systèmes rizicoles camarguais et stratégies d'adaptation	FranceAgriMer (30 k€)	Projet interne	2015	**Coordination**
Identification et analyse des performances des stratégies de diversification culturale des agriculteurs de Camargue	FranceAgriMer (26 k€)	Projet interne	2015	**Participation**
SCENARICE (Scenario Integrated Assessment for Sustainable Rice production systems)	Agropolis Fondation (ANR Investissement d'Avenir) et Fondation Cariplo (240 k€)	IREA-CNR, Cassandra Lab. Université de Milan (UNIMI)	2013-2016	**Participation**
SEMI-ARID (Sustainable and Efficient Mediterranean farming systems: Improving Agriculture Resilience through Irrigation and Diversification)	ANR ARIMNET-2 (320 k€)	UMR ABSys (CIHEAM-IAMM), IAV Hassan II Maroc, ENSA Algérie, INRA Algérie	2018-2021	**Coordination du WP** « Scénario de réflexion stratégique avec les parties prenantes et définition d'indicateurs »
SENTINEL-Riz (Analyses des potentialités des données Sentinel-1 et 2 pour le suivi du riz en Camargue)	CNES (30 k€)	UMR TETIS, UMR Emmah	2017-2020	**Participation**

1.7 COLLABORATIONS

INRAE

UMR ABSys : Christian Gary (depuis 2014), Anne Mérot (depuis 2019), Stéphane de Tourdonnet (depuis 2020)
UMR Agronomie : Marie-Hélène Jeuffroy (depuis 2009) ; Muriel Valantin-Morison (depuis 2020)
UMR Écodéveloppement : Mireille Navarrete (depuis 2019)
UMR Emmah : Dominique Courault (depuis 2016)
UE Epoisses : Violaine Deytieux (depuis 2021)
UMR G-Eau : Pauline Brémont et Fredéric Grelot (depuis 2020), Delphine Leenhardt (depuis 2021)
UMR Innovation : Jean-Marc Barbier (depuis 2014), Nina Graveline (depuis 2020), Marc Moraine (depuis 2020), Coline Perrin (depuis 2021)
UMR Lisah : Laurent Prévot (depuis 2018) ; Cécile Dagès et Marc Voltz (depuis 2019)
UR LAE : Marie Thiollet-Scholtus (depuis 2014)
UMR SADAPT : Jean-Marc Meynard et Lorène Prost (depuis 2020)

Recherche hors INRAE

Bordeaux Sciences Agro : Adeline Ugaglia (depuis 2019, *projet DECIDEP*)
CIHEAM-IAMM : UMR ABSys Hatem Belhouchette (depuis 2016, *projet SEMI-ARID*)
CIRAD : UMR ABSys Karim Barkaoui et Eric Justes (depuis 2019, *projet Biodiversify*) ; UMR G-Eau Crystèle Leauthaud (depuis 2018, *projet VIANA*) ; UMR Innovation Nadine Andrieu (*depuis 2019, projets non retenus + article*)
Institut Agro Montpellier : UMR ABSys Stéphane de Tourdonnet, Aurélie Métay, Raphaël Métral (depuis 2019, *projets Biodiversify et Ripp-Viti*)
IRD : UMR Eco&Sol Tiphaine Chevallier (depuis 2020, *thèse de Maryline Darmaun*)
Université Montpellier 3, Laboratoire LIRDEF : Serge Leblanc (depuis 2019, *thèse de Clémence Bénézet*)

Recherche à l'international

Simone Bregaglio (Université de Milan) et Mirco Boschetti, Pietro Brivio et Giacinto Manfron (IREA-CNR), Italie : *séjour post-doctoral* (2016, projet Scenarice)
Mourad Latati (ENSA, Alger), Ahmed Bouaziz (IAV Hassan II, Maroc) et Aziz Fadlaoui (INRA Meknès, Maroc) : projet SEMI-ARID, *approche participative dont ateliers, articles*
Zeineb Kassouk et Jihene Ben Yahmed (INAT), Tunisie : projets *VIANA et ANZAR*
Maria Ernfors et Erik S. Jensen (Swedish University of Agricultural Sciences, Suède) : *séjour et article* (2013, post-doc)
Pierre Chopin (Swedish University of Agricultural Sciences, Suède) : *rédaction d'articles* (2018-2019)
Singlinde Snapp (Université du Michigan), Gregg Sanford (Université du Wisconsin) et David Archer (USDA) : *séjour et article (2013, post-doc)*

Partenaires non chercheurs actuels

Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse : Kevin Boisset (depuis 2020)
AOP Faugères : Nathalie Caumette et Marie Corbel (depuis 2019)
AOP Languedoc : Jean-Phillipe Granier (depuis 2020)

AOP Saint-Chinian : Hélène Le Guiel (depuis 2019)
Cave coopérative du Rieutort : Roger Martin (depuis 2019)
Chambre d'Agriculture Régionale d'Occitanie : Cristel Chevrier (depuis 2020)
Chambre d'Agriculture Départementale de l'Hérault : Nathalie Fortin (depuis 2020)
DRAAF Occitanie : Aurélie Bravin et Gwenaelle Bizet (depuis 2020)
Établissement Public Territorial de Bassin Orb & Libron : Romain Cosnil, Nadia Van Hanja (depuis 2019)
Institut Français de la Vigne et du Vin : Xavier Delpuech (depuis 2020)
FREDON Occitanie : Ira Helal (depuis 2020)

1.8 PUBLICATIONS

Articles - Revues scientifiques internationales à comité de lecture
J'ai indiqué en italique les noms des étudiant.e.s que j'ai encadré.e.s ou co-encadré.e.s (thèse ou master/ingénieur). Comme demandé par l'école doctorale GAIA, j'indique les facteurs d'impact des revues (impact factor 2 ans 2019-2020, source : https://intranet.noria.inrae.fr). Tous sont supérieurs à 1.

ACL1) **Laure Hossard**, *Caroline Tardivo*, Jean-Marc Barbier, Roberto Cittadini, Sylvestre Delmotte, Christophe Le Page. Embedding the integrated assessment of agricultural systems in a companion modeling process to debate and enhance their sustainability. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2022, 42 (1), pp.11. ⟨10.1007/s13593-021-00744-6⟩ ; IF= 5,832

ACL2) *Audrey Naulleau*, Christian Gary, Laurent Prévot, Victor Berteloot, Jean-Christophe Fabre, David Crevoisier, Rémi Gaudin, **Laure Hossard**. Participatory modeling to assess the impacts of climate change in a Mediterranean vineyard watershed. *Environmental Modelling & Software*, 2022, 105342. ⟨10.1016/j.envsoft.2022.105342⟩ ; IF= 5,288

ACL3) Hugo Fernandez Mena, Hélène Frey, Florian Celette, Léo Garcia, Karim Barkaoui, **Laure Hossard**, *Audrey Naulleau*, Raphaël Métral, Christian Gary, Aurélie Metay. Spatial and temporal diversity of service plant management strategies across vineyards in the south of France. Analysis through the Coverage Index. *European Journal of Agronomy*, 2021, 123, pp. 126-191. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126191 ; IF= 5,124

ACL4) **Laure Hossard**, Aziz Fadlaoui, *Elsa Ricote*, Hatem Belhouchette. Assessing the resilience of farming systems on the Saïs plain, Morocco. *Regional Environmental Change*, Springer Verlag, 2021, 21 (2), 14 p. ⟨10.1007/s10113-021-01764-4⟩ ; IF= 3,678

ACL5) Dominique Courault, **Laure Hossard**, Valérie Demarez, Hélène Dechatre, Kamran Irfan, Nicolad Baghdadi, Fabrice Flamain, Françoise Ruget. STICS crop model and Sentinel-2 images for monitoring rice growth and yield in the Camargue region. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2021, 41 (4), pp.1-17. ⟨10.1007/s13593-021-00697-w⟩ ; IF= 5,832

ACL6) Nadine Andrieu, **Laure Hossard**, Nina Graveline, Patrick Dugue, P. Guerra, N Chiringa. Covid-19 management by farmers and policymakers in Burkina Faso, Colombia and France: lessons for climate action. *Agricultural Systems*, Elsevier Masson, 2021, 190, pp.1-6. ⟨10.1016/j.agsy.2021.103092⟩ ; IF= 5,37

ACL7) *Audrey Naulleau*, Christian Gary, Laurent Prevot, **Laure Hossard**. Evaluating Strategies for Adaptation to Climate Change in Grapevine Production - A Systematic

Review. *Frontiers in Plant Science*, Frontiers, 2021, 11, pp.607859. ⟨10.3389/fpls.2020.607859⟩ ; IF= 5,753

ACL8) Dominique Courault, **Laure Hossard**, Fabrice Flamain, Nicolas Baghdadi, Kamran Irfan. Assessment of Agricultural Practices From Sentinel 1 and 2 Images Applied on Rice Fields to Develop a Farm Typology in the Camargue Region. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE, 2020, 13, pp.5027-5035. ⟨10.1109/JSTARS.2020.3018881⟩ ; IF= 4,472

ACL9) Pierre Chopin, Göran Bergkvist, **Laure Hossard**. Modelling biodiversity change in agricultural landscape scenarios - A review and prospects for future research. *Biological Conservation*, Elsevier, 2019, 235, pp.1-17. ⟨10.1016/j.biocon.2019.03.046⟩ ; IF= 5,99

ACL10) **Laure Hossard**, Pierre Chopin. Modelling agricultural changes and impacts at landscape scale: A bibliometric review. *Environmental Modelling and Software*, Elsevier, 2019, 122, pp.1-18. ⟨10.1016/j.envsoft.2019.104513⟩ ; IF= 5,288

ACL11) **Laure Hossard**, Veronique Souchere, Marie-Helene Jeuffroy. Effectiveness of field isolation distance, tillage practice, cultivar type and crop rotations in controlling phoma stem canker on oilseed rape. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Elsevier Masson, 2018, 252, pp.30-41. ⟨10.1016/j.agee.2017.10.001⟩ ; IF= 5,567

ACL12) E. Ndikumana, Dinh Ho Tong Minh, N. Baghdadi, D. Courault, **L. Hossard**. Deep Recurrent Neural Network for agricultural classification using multitemporal SAR Sentinel-1 for Camargue, France. *Remote Sensing*, MDPI, 2018, 10 (8), 16 p. ⟨10.3390/rs10081217⟩ ; IF= 4,848

ACL13) E. Ndikumana, Dinh Ho Tong Minh, H. Thu Dang Nguyen, N. Baghdadi, D. Courault, **Laure Hossard**, Ibrahim El Moussawi. Estimation of rice height and biomass using multi-temporal SAR Sentinel-1 for Camargue, southern France. *Remote Sensing*, MDPI, 2018, 10 (9), 18 p. ⟨10.3390/rs10091394⟩ ; IF= 4,848

ACL14) Simone Bregaglio, **Laure Hossard**, Giovanni Cappelli, *Rémi Resmond*, Stefano Bocchi, Jean-Marc Barbier, Françoise Ruget, Sylvestre Delmotte. Identifying trends and associated uncertainties in potential rice production under climate change in Mediterranean areas. *Agricultural and Forest Meteorology*, Elsevier Masson, 2017, 237-238, pp.219-232. ⟨10.1016/j.agrformet.2017.02.015⟩ ; IF= 5,734

ACL15) *Florine Mailly*, **Laure Hossard**, Jean Marc Barbier, Marie Thiollet-Scholtus, Christian Gary. Quantifying the impact of crop protection practices on pesticide use in wine-growing systems. *European Journal of Agronomy*, Elsevier, 2017, 84, pp.23-34. ⟨10.1016/j.eja.2016.12.005⟩ ; IF= 5,124

ACL16) Giacinto Manfron, Sylvestre Delmotte, Lorenzo Busetto, **Laure Hossard**, Luigi Ranghetti, Pietro Alessandro Brivio, Mirco Boschetti. Estimating inter-annual variability in winter wheat sowing dates from satellite time series in Camargue, France. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Elsevier, 2017, 57, pp.190-201. ⟨10.1016/j.jag.2017.01.001⟩ ; IF= 5,933

ACL17) **Laure Hossard**, Laurence Guichard, Céline Pelosi, David Makowski. Lack of evidence for a decrease in synthetic pesticide use on the main arable crops in France. *Science of the Total Environment*, Elsevier, 2017, 575, pp.152-161. ⟨10.1016/j.scitotenv.2016.10.008⟩ ; IF= 7,963

ACL18) Sylvestre Delmotte, Vincent Couderc, Jean-Claude Mouret, Santiago Lopez Ridaura, Jean Marc Barbier, **Laure Hossard**. From stakeholders narratives to modelling plausible future agricultural systems: integrated assessment of scenarios for Camargue, Southern France. *European Journal of Agronomy*, Elsevier, 2017, 82, pp.292-307. ⟨10.1016/j.eja.2016.09.009⟩ ; IF= 5,124

ACL19) **Laure Hossard**, Simone Bregaglio, Aurore Philibert, Francoise Ruget, *Rémi Resmond* Giovanni Cappelli, Sylvestre Delmotte. A web application to facilitate crop model comparison in ensemble studies. *Environmental Modelling and Software*, Elsevier, 2017, 97, pp.259-270. ⟨10.1016/j.envsoft.2017.08.008⟩ ; IF= 5,288

ACL20) **Laure Hossard**, *Soizic Guimier*, Fabrice Vinatier, Jean Marc Barbier, Sylvestre Delmotte, Marie Fontaine, Jean-Baptiste Rivoal. Source of Hyalesthes obsoletus Signoret planthopper (Hemiptera: Cixiidae) in southern France and potential effects of landscape. *Bulletin of Entomological Research*, Cambridge University Press (CUP), 2017, 108 (Online first), pp.1-10. ⟨10.1017/S0007485317000815⟩ ; IF= 1,75

ACL21) Simone Bregaglio, P. Titone, **Laure Hossard**, G. Mongiano, G. Savoini, F.M. Piatti, L. Paleari, A. Masseroli, L. Tamborini. Effects of agro-pedo-meteorological conditions on dynamics of temperate rice blast epidemics and associated yield and milling losses. *Field Crops Research*, Elsevier, 2017, 212, pp.11-22. ⟨10.1016/j.fcr.2017.06.022⟩ ; IF= 5,224

ACL22) **Laure Hossard**, David W. Archer, Michel Bertrand, Caroline Colnenne-David, Philippe Debaeke, Maria Ernfors, Marie-Hélène Jeuffroy, Nicolas Munier-Jolain, Chris Nilsson, Gregg R. Sanford, Sieg S. Snapp, Erik, S. Jensen, David Makowski. A meta-analysis of maize and wheat yields in low-input vs. conventional and organic systems. *Agronomy Journal*, American Society of Agronomy, 2016, 108 (3), pp.1155-1167. ⟨10.2134/agronj2015.0512⟩ ; IF= 2,24

ACL23) Gloria Bordogna, Luca Frigerio, Tomas Kliment, Pietro Alessandro Brivio, **Laure Hossard**, Giacinto Manfron, Simone Sterlacchini. "Contextualized VGI" creation and management to cope with uncertainty and imprecision. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, MDPI, 2016, 5 (12). ⟨10.3390/ijgi5120234⟩ ; IF= 2,899

ACL24) **Laure Hossard**, Veronique Souchere, Elise Pelzer, Xavier Pinochet, Marie-Helene Jeuffroy. Meta-modelling of the impacts of regional cropping system scenarios for phoma stem canker control. *European Journal of Agronomy*, Elsevier, 2015, 68, pp.1-12. ⟨10.1016/j.eja.2015.04.006⟩ ; IF= 5,124

ACL25) **Laure Hossard**, Marie Gosme, Veronique Souchere, Marie-Helene Jeuffroy. Linking cropping system mosaics to disease resistance durability. *Ecological Modelling*, Elsevier, 2015, 307, pp.1-9. ⟨10.1016/j.ecolmodel.2015.03.016⟩ ; IF= 2,974

ACL26) **Laure Hossard**, A. Philibert, Michel Bertrand, Caroline Colnenne-David, Philippe Debaeke, Nicolas Munier-Jolain, Marie-Hélène Jeuffroy, Guy Richard, David Makowski. Effects of halving pesticide use on wheat production. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, 2014, 4, ⟨10.1038/srep04405⟩ ; IF= 4,379

ACL27) Michel Duru, **Laure Hossard**, Guillaume Martin, Jean Pierre Theau. A methodology for characterization and analysis of plant functional composition in grassland-based farms. *Grass and Forage Science*, Wiley, 2013, 68 (2), pp.216-227. ⟨10.1111/j.1365-2494.2012.00897.x⟩ ; IF=2,63

ACL28) **Laure Hossard**, Marie-Helene Jeuffroy, Elise Pelzer, Xavier Pinochet, Veronique Souchere. A participatory approach to design spatial scenarios of cropping systems and assess their effects on phoma stem canker management at a regional scale. *Environmental Modelling and Software*, Elsevier, 2013, 48, pp.17 - 26. ⟨10.1016/j.envsoft.2013.05.014⟩ ; IF= 5,288

ACL29) Guillaume Martin, **Laure Hossard**, Jean Pierre Theau, Olivier Therond, Etienne Josien, Pablo Cruz, Jean-Pierre Rellier, Roger Martin-Clouaire, Michel Duru. Characterizing potential flexibility in grassland use: An application to the French Aubrac area. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2009, 29 (2), pp.381-389. ⟨10.1051/agro:2008063⟩ ; IF= 5,832

Articles - Revues scientifiques francophones à comité de lecture

1) Michel Duru, Jean Pierre Theau, Laure Hossard, Guillaume Martin, Pablo Cruz. Diversité de la composition fonctionnelle de la végétation au sein d'une prairie et entre prairies : caractérisation et analyse dans des élevages herbagers. *Fourrages*, Association Française pour la Production Fourragère, 2011, pp.61-73.

Articles – soumis

1) **Laure Hossard**, *Claire Schneider*, Marc Voltz. A role-playing game to stimulate thinking on vineyards management for limiting pesticide use and impact. Soumis à Journal of Cleaner Production
2) *Audrey Naulleau*, Laurent Prévot, Fabrice Vinatier, Christian Gary, **Laure Hossard**. How can wine-growers adapt to climate change? A participatory modeling approach in the South of France. Soumis à Agricultural Systems

Articles – à soumettre avant l'été 2022

1) *Clémence Bénézet*, **Laure Hossard**, Serge Leblanc, Mireille Navarrete. Using video recordings to highlight farmer's knowledge in action: the case of horse-powered soil tillage in French agroecological vineyards. A soumettre à Agronomy for Sustainable Development
2) *Maryline Darmaun*, Tiphaine Chevallier, Jean-Luc Chotte, **Laure Hossard**, Juliette Lairez, Eric Scopel, Adeline Lambert-Derkimba, Stéphane de Tourdonnet. Multidimensional and multiscale assessment of agroecological transitions. A review. A soumettre à Agronomy for Sustainable Development.
3) Kamran Irfan, Samuel Buis, Guilhem Bourrié, Dominique Courault, **Laure Hossard**, Santiago Lopez-Ridaura, Sylvestre Delmotte, Jean-Claude Mouret, Fabienne Trolard, Françoise Ruget. Adaptation of the STICS crop model to the flooded rice (Oriza sativa L.). A soumettre à Rice Science.

Articles à destination des utilisateurs de la recherche (groupes professionnels, vulgarisation)

1) Audrey Naulleau, Laurent Prévot, Christian Gary, **Laure Hossard**. Évaluer numériquement les impacts du changement climatique au sein d'un bassin viticole pour co-construire des stratégies d'adaptation. *Agronomie, Environnement et Sociétés,* 2021, 11-2, 14p. https://doi.org/10.54800/rtr361
2) **Laure Hossard,** Christian Lannou, Julien Papaix, Herve Monod, Elise Lô-Pelzer, et al. Quel déploiement spatio-temporel des variétés et des itinéraires techniques pour accroître la durabilité des résistances variétales ? *Innovations Agronomiques*, INRAE, 2010, 8, pp.15-33

Chapitres d'ouvrages

1) *Audrey Naulleau*, **Laure Hossard**, Christian Gary, Laurent Prévot. Vignobles méditerranéens : de l'évaluation locale du changement climatique à l'identification de leviers d'adaptation. *Cahier Régional Occitanie sur les Changements Climatiques*, 2021. Chapitre pp. 186-187
2) Jean-Marc Touzard, Jean Marc Barbier, **Laure Hossard**. Opening the TATA-BOX to raise new questions on agroecological transition. Bergez, Jacques-Eric; Audouin, Elise; Thérond, Olivier. *Agroecological transitions: from theory to practice in local*

participatory design, Springer Nature Switzerland AG, 335 p., 2019, 978-3-030-01952-5 978-3-030-01953-2. ⟨10.1007/978-3-030-01953-2_15⟩. Chapitre pp. 323-330.

3) **Laure Hossard**, Marie-Hélène Jeuffroy, Véronique Souchère. Conception participative et évaluation numérique de scénarios spatialisés de systèmes de culture. In Chap 11. Vers une co-conception de paysages pour la santé des plantes et avec des acteurs du territoire par Mourad Hannachi et Vincent Martinet. *Paysage, biodiversité fonctionnelle et santé des plantes,* Cardère Editeur Educagri, 244 p., 2019. Chapitre pp. 191-197.
4) **Laure Hossard**, Simone Bregaglio, Rémi Resmond, Jean-Claude Mouret, Jean Marc Barbier, et al. Les systèmes rizicoles face au changement climatique : quels impacts et adaptations en Camargue ? *Le riz et la Camargue : vers des agroécosystèmes durables*, Cardère Editeur Educagri, 508 p., 2018, 978-2-37649-003-6 979-10-275-0154-0. Chapitre pp. 377-386.
5) Sylvestre Delmotte, Vincent Couderc, **Laure Hossard**, Camille Lacombe, Florine Mailly, et al. Freins et opportunités pour le développement de systèmes rizicoles biologiques en Camargue. *Le riz et la Camargue : vers des agroécosystèmes durables*, Cardère Editeur Educagri, 508 p., 2018, 978-2-37649-003-6 979-10-275-0154-0. Chapitre pp. 421-436.
6) Vincent Couderc, Sylvestre Delmotte, **Laure Hossard**, Jean-Claude Mouret, Jean Marc Barbier. Réduire les émissions de gaz à effet de serre dans les systèmes de culture camarguais. *Le riz et la Camargue : vers des agroécosystèmes durables*, Cardère Editeur Educagri, 508 p., 2018, 978-2-37649-003-6 979-10-275-0154-0. Chapitre pp. 389-401.
7) Nadine Andrieu, Jean Marc Barbier, Sylvestre Delmotte, Patrick Dugué, **Laure Hossard**, et al. Co-conception de changements techniques et organisationnels au sein des systèmes agricoles. *Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires*, Editions Quae, 259 p., 2018, Synthèses (Quae), 978-2-7592-2812-6 978-2-7592-2813-3. Chapitre pp. 151-161.
8) Nadine Andrieu, Jean Marc Barbier, Sylvestre Delmotte, Patrick Dugué, **Laure Hossard**, et al. Co-designing technical and organizational changes in agricultural systems. *Innovation and development in agricultural and food systems*, 2018, 978-2-7592-2960-4. Chapitre pp. 365-390.
9) Groupe Régional d'Experts Sur Le Climat En Provence-Alpes-Côte d'Azur (GREC-Paca). Association Pour L'innovation Et La Recherche Au Service Du Climat, Jean Marc Barbier, Claude Baury, Patrick Bertuzzi, et al. Les effets du changement climatique sur l'agriculture et la forêt en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), 40 p., 2016, Les Cahiers du GREC-PACA, 9782956006022. Chapitre pp. 17-19.

Rapports diplômants

1) Laure Hossard. Conception participative et évaluation numérique de scénarios spatialisés de systèmes de culture. Cas de la gestion du phoma du colza et de la durabilité des résistances. Sciences du Vivant [q-bio]. Thèse de Doctorat, AgroParisTech, 2012. Français. 238 p.
2) Laure Hossard. Simplifying vegetation characterization tools for agro-environmental evaluation of semi-mountainous grasslands. Mémoire M2 Recherche, Wageningen University, 2009. Anglais. 131 p.
3) Laure Hossard. Gestion de la diversité des prairies dans des élevages semi-montagnards. Mémoire de fin d'études, ISARA Lyon, 2007. Français. 99 p.

Communications dans des conférences internationales

1) **Laure Hossard**, *Elsa Ricote-Gonzalez*, Aziz Fadlaoui Hatem Belouchette. Assessment of the resilience of farming systems in the Saïss plain, Morocco. Conference *International Farming System Association*. April 2022, Evora, Portugal.
2) *Audrey Naulleau*, Laurent Prévot, Christian Gary, **Laure Hossard**. Adapting viticulture to climate change: a participatory scenario design within a Mediterranean catchment. Conference *International Farming System Association*. April 2022, Evora, Portugal.
3) **Laure Hossard**, Fatah Ameur, Elsa Ricote-Gonzalez, Crystele Leauthaud. Comparing viewpoints on agricultural development. Conference *International Farming System Association*. April 2022, Evora, Portugal.
4) Claire Lavigne, Marie-Hélène Jeuffroy, **Laure Hossard**, Jean-Marc Meynard, Adrien Rusch. Combining landscape ecology and agronomic approach for the design of pest-suppressive landscapes. Conference *British Ecological Society – French Society of Ecology and Evolution*. December 2021, Liverpool, United Kingdom.
5) *Bénézet Clémence*, **Laure Hossard**, Serge Leblanc, Mireille Navarrete. Using video recordings to reveal farmers' learning when introducing horse work for soil tillage in French vineyards. *Farmer-centric On-Farm Experimentation*. Nov 2021, Montpellier, France.
6) *Bénézet Clémence*, **Laure Hossard**, Serge Leblanc, Mireille Navarrete. The use of work horses on vineyard estates: linking traditional methods to innovative and collaborative forms of work. *2. International Symposium on Work in Agriculture*, IAWA; INRAE; UMR Territoires; RMT Travail en agriculture, Mar 2021, Clermont-Ferrand, France.
7) **Laure Hossard**, Hiba Merzouki, Hatem Belhouchette. Effect of preceding crop on nitrogen efficiency for soft winter wheat in Sais region, Morocco. *16th ESA Congress*, European Society of Agronomy, Sep 2020, Sevilla, Spain.
8) *Audrey Naulleau*, Laurent Prevot, Christian Gary, **Laure Hossard**. Strategies for adapting viticulture to climate change: a participatory modeling approach within a mediterranean catchment. *16th ESA Congress*, Sep 2020, Sevilla, Spain.
9) Dominique Courault, Valérie Demarez, **Laure Hossard**, Fabrice Flamain, Emile Ndikumana, et al. Comparison of two modeling approaches to simulate rice production in the Camargue region using Sentinel 2 data. *39. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society (GRSS). USA., Jul 2019, Yokohama, Japan. ⟨10.1109/IGARSS.2019.8899124⟩.
10) Dominique Courault, **Laure Hossard**, Fabrice Flamain, Emile Ndikumana, Dinh Ho Tong Minh, et al. Assessment of agricultural practices from Sentinel 1 & 2 images applied on rice fields to get a farm typology in the camargue region. *39. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, IEEE Geoscience and Remote Sensing Society (GRSS). USA., Jul 2019, Yokohama, Japan. ⟨10.1109/IGARSS.2019.8898466⟩.
11) Pierre Chopin, **Laure Hossard**. Diversity of model-based scenario approaches of biodiversity evolution in agricultural landscapes. A review. *ESA 2018*, European Society for Agronomy (ESA)., Aug 2018, Genève, Switzerland. 178 p.
12) Emile Ndikumana, Dinh Ho Tong Minh, N. Baghdadi, Dominique Courault, **Laure Hossard**. Applying deep learning for agricultural classification using multitemporal SAR Sentinel-1 for Camargue, France. *Image and Signal Processing for Remote Sensing XXIV*, Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE). Cardiff, GBR., Sep 2018, Berlin, Germany. pp.13, ⟨10.1117/12.2325160⟩.

13) Emile Ndikumana, Dinh Ho Tong Minh, Nicolas Baghdadi, Dominique Courault, **Laure Hossard**. Rice height and biomass estimations using multitemporal SAR Sentinel-1: Camargue case study. *SPIE Remote Sensing*, Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE). Cardiff, GBR., Sep 2018, Berlin, Germany. 1 p. ⟨10.1117/12.2325174⟩
14) Emile Ndikumana, Dinh Ho Tong Minh, D. Nguyen Hai Thu, N. Baghdadi, Dominique Courault, **Laure Hossard**. Rice height and biomass estimations using multitemporal SAR Sentinel-1: Camargue case study. *SPIE Remote Sensing 2018*, Sep 2018, Berlin, Germany. pp.17, ⟨10.1117/12.2325174⟩.
15) Simone Bregaglio, Laura Giustarini, **Laure Hossard**, Tommaso de Gregorio. Analyzing the impact of agro-environmental conditions on the dynamics of hazelnut yield in Chile. *9. International Congress on Hazelnut*, International Society for Horticultural Science (ISHS). INT., Aug 2017, Samsun, Turkey.
16) Jean Marc Barbier, Anne-Marie Ducasse Cournac, Florine Mailly, **Laure Hossard**, Marie Thiollet-Scholtus, et al. Intensité et variabilité des pratiques de traitements phytosanitaires des vignes en France : analyse de l'influence de certaintes charactéristiques du vignoble. *20. GiESCO International Meeting*, Nov 2017, Mendoza, Argentine.
17) Simone Bregaglio, **Laure Hossard**, Giovanni Allessandro Cappelli, Francoise Ruget, Sylvestre Delmotte. Identifying trends and sources of uncertainty in potential rice productions under climate change in Mediterranean countries. *iCROPM 2016 International Crop Modelling Symposium "Crop Modelling for Agriculture and Food Security under Global Change"*, Knowledge Hub FACCE MACSUR. INT.; Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project (AgMIP). USA., Mar 2016, Berlin, Germany. 437 p.
18) Giacinto Manfron, Pietro Alessandro Brivio, Gloria Bordogna, Sylvestre Delmotte, **Laure Hossard**, et al. Caractérisation des trajectoires d'usage des sols agricoles en Camargue (France). *7. Convegno Nazionale AIT*, Jun 2016, Palermo, Italy.
19) *Caroline Tardivo*, Christophe Le Page, Jean Marc Barbier, **Laure Hossard**, Roberto Cittadini, et al. Co-building a simulation model with various stakeholders to assess the sustainability of a regional agricultural system: How to articulate different types of knowledge to manage uncertainty? *8. International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs 2016)*, International Environmental Modelling & Software Society. Manno, CHE., Jul 2016, Toulouse, France.
20) Jean-Claude Mouret, Sylvestre Delmotte, Santiago Lopez Ridaura, **Laure Hossard**, Roy Hammond, et al. Challenges and opportunities for the development of organic rice farming systems in Camargue, Southern France. *2. Organic Rice farming and Production Systems International Conference*, Università degli studi di Milano [Milano]. Milano, ITA., Sep 2015, Pavia, Italy. 120 p.
21) *Florine Mailly*, Jean Marc Barbier, Marie Thiollet-Scholtus, **Laure Hossard**, Christian Gary. Impact of soil and canopy management practices on pesticide use in viticulture in french regions. *2. Stakeholders Congress IPM innovation in Europe*, Jan 2015, Poznan, Poland. 174 p., 2015, IPM Innovation in Europe: book of abstracts.
22) Sylvestre Delmotte, **Laure Hossard**, Vincent Couderc, Santiago Lopez Ridaura, Jean-Claude Mouret, et al. Assessment of the consequences on indicators of sustainability of different scenarios of development of organic farming systems in Camargue, France. *2. Organic Rice farming and Production Systems International Conference*, Università degli studi di Milano [Milano]. Milano, ITA., Sep 2015, Pavia, Italy. 120 p.
23) Jean Marc Barbier, Stefano Bocchi, Sylvestre Delmotte, Andrea Porro, Francesca Orlando, Mirco Boschetti, Alessandro Brivio, Simone Bregaglio, Giovanni Capelli,

Roberto Confalioneri, Françoise Ruget, Vincent Couderc, **Laure Hossard**, Jean-Claude Mouret, Santiago Lopez-Ridaura. Combining systems analysis tools for the integrated assessment of scenarios in rice production systems at different scales. *5. International Symposium for Farming Systems Design (AGRO2015)*, European Society for Agronomy (ESA). INT., Sep 2015, Montpellier, France. 530 p.

24) Vincent Couderc, **Laure Hossard**, Jean Marc Barbier, Jean-Claude Mouret, Santiago Lopez Ridaura, et al. Participatory scenarios' development and assessment for sustainable farming systems in Camargue, South of France. *5. International Symposium for Farming Systems Design (AGRO2015)*, Sep 2015, Montpellier, France. 530 p., 2015, Proceedings of the 5th International Symposium for Farming Systems Design (FSD5).
25) *Vincent Couderc*, Jean Marc Barbier, Roy Hammond, **Laure Hossard**, Florine Mailly, et al. Farming systems design: complementarities between experts' prototyping and modeling. *13. Congress of the European Society for Agronomy*, European Society for Agronomy (ESA)., Aug 2014, Debrecen, Hungary. 515 p.
26) **Laure Hossard**, Aurore Philibert, Michel Bertrand, Caroline Colnenne-David, Philippe Debaeke, et al. Assessment of the impact of a decrease in pesticide use on wheat production in France using cropping system experiments. *1. International Conference on Global Food Security*, Sep 2013, Noordwijkerhout, Netherlands.
27) Marie Gosme, Fabrice Vinatier, **Laure Hossard**, Muriel Morison, Marie-Helene Jeuffroy. PODYAM: a modeling framework for simulating population dynamics in agricultural mosaics. *10. International Congress of Plant Pathology*, Aug 2013, Beijing, China. 620 p.
28) **Laure Hossard**, Veronique Souchere, Marie-Helene Jeuffroy. Spatial cultivar deployment and residue management: what impact for phoma stem canker of winter oilseed rape and resistance sustainability? *Plant Resistance Sustainability International Congress*, Oct 2012, La Colle sur Loup, France.
29) **Laure Hossard**, Marie-Helene Jeuffroy, Véronique Souchère. Designing sustainable management scenarios to control blackleg of winter oilseed rape from a combination of participative design and model simulations. *13. International Rapeseed Congress*, Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains (CETIOM). Groupe Consultatif International de Recherche sur le Colza (GCIRC), Thivernal-Grignon, FRA., Jun 2011, Prague, Czech Republic.
30) Guillaume Martin, Michel Duru, Roger Martin-Clouaire, Jean-Pierre Rellier, Jean Pierre Theau, Olivier Thérond, **Laure Hossard**. Towards a simulation-based study of grassland and animal management in livestock farming systems. *4. IEMSS Biennal meeting*, Jul 2008, Barcelone, Spain.
31) Delphine Fallour, Jean Pierre Theau, K Corler, **Laure Hossard**, Guillaume Martin, et al. A simplified method to determine the abundance of grass functional groups in natural grasslands. *22. General Meeting of the European Grassland Federation*, Jun 2008, Uppsala, Switzerland.

Communications dans des conférences francophones

1) **Laure Hossard**, Céline Pelosi, David Makowski. Absence de diminution de l'usage des pesticides en France sur les grandes cultures suite au plan Écophyto. *46. Congrès du Groupe Français des Pesticides*, May 2016, Bordeaux, France.
2) Roberto Arnaldo Cittadini, Caroline Tardivo, Christophe Le Page, **Laure Hossard**, Sylvestre Delmotte, et al. Théorie de l'acteur réseaux et recherche territorial en partenariat : outil explicatif et performatif. *6. Congrès de l'Association Française de Sociologie*, Jun 2015, Saint-Quentin-en-Yvelines, France.

3) **Laure Hossard**, Veronique Souchere, Elise Pelzer, Xavier Pinochet, Marie-Helene Jeuffroy. Conception et simulation de scenarios de gestion durable des resistances au phoma du colza avec une version améliorée du modèle spatio-temporel SIPPOM-WOSR. *10. Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes*, Dec 2012, Tours, France. 7 p.
4) **Laure Hossard**, Marie-Helene Jeuffroy, Veronique Souchere. Construire et évaluer des scenarios de gestion spatial des systèmes de culture pour accroître la durabilité des résistances au phoma chez le colza : méthode et exemples de deux terrains contrastés. *9. Rencontres de Phytopathologie - Mycologie de la Société Française de Phytopathologie*, Societe Francaise de Phytopathologie (SFP). Paris, FRA., Jan 2012, Aussois, France. pp.47-47.
5) **Laure Hossard**, Christian Lannou, Julien Papaix, Herve Monod, Elise Pelzer, et al. Quel déploiement spatio-temporel des variétés et des itinéraires techniques pour accroître la durabilité des résistances variétales ? *Carrefour de l'Innovation Agronomique "Démarches outils et innovations pour utiliser moins de pesticides en grande culture"*, May 2010, Versailles, France.

2 Synthèse de mes travaux de recherche : démarches participatives de conception-évaluation de systèmes innovants agricoles pour s'adapter aux enjeux actuels et futurs

2.1 SYNTHESE DE MON PARCOURS

Suite à deux stages et un CDD IE m'ayant initiée à la recherche (INRAE Toulouse UMR AGIR en 2007-2008 et Univ. Wageningen en 2009), j'ai débuté mon parcours de recherche en octobre 2009 par ma thèse en agronomie à INRAE Grignon, au sein des UMR Agronomie et Sadapt (Figure 1). Je cherchais à **concevoir et évaluer numériquement, à l'aide d'un modèle numérique complexe préexistant, des scénarios de systèmes de culture spatialisés visant à lutter contre le phoma du colza**. J'ai ensuite réalisé un post-doctorat en agronomie globale à INRAE Grignon UMR Agronomie (en 2013-2014), sur la **comparaison des performances de systèmes céréaliers à différents niveaux d'intrants (pesticides, fertilisants)**.

En février 2014, j'ai été recrutée en tant que CR à INRAE Montpellier UMR Innovation sur un profil d'agronome des territoires « Évaluation intégrée et participative des systèmes agricoles innovants ». Plus spécifiquement, l'objectif du profil était de **concevoir des démarches d'évaluation participatives, multicritères et multi-échelles, de la durabilité des systèmes agricoles**, en particulier face au changement climatique.

Dans le cadre de ce poste, j'ai réalisé un séjour postdoctoral en Italie (10 mois en 2016), au sein du CNR IREA et de Cassandra Lab (Université de Milan), au sein du projet Scenarice, qui visait à **combiner méthodes de télédétection, modélisation et approches participatives pour construire des scénarios pour une riziculture durable** au sein de deux zones de production en France et en Italie.

Mes travaux portent sur **la conception et l'évaluation participatives de systèmes agricoles innovants, avec une diversité de parties prenantes** (agriculteurs, conseillers, coopératives, acteurs des politiques publiques, chercheurs, etc.) pour faire face à deux enjeux principaux : **le changement climatique, et la réduction de l'usage et de l'impact des produits phytosanitaires**. Ces travaux articulent trois phases principales : 1) diagnostic, 2) conception, et 3) évaluation *ex ante*. Le type et la nature de l'implication des parties prenantes peuvent différer entre ces trois phases selon les travaux que j'ai menés. Dans mes recherches, **j'articule plusieurs échelles : parcelle, exploitation, et territoire.** Je ne suis « spécialiste » d'aucun outil, et je cherche à adapter des outils disponibles (ex. modèle mécaniste, bioéconomique), ou à contribuer à les développer, selon les questions travaillées, les projets (ex. outil porté/mis en avant par des partenaires, durée), le réalisme, et l'adéquation au terrain (pertinence et faisabilité, notamment vis-à-vis de la capacité de mobilisation des parties-prenantes).

Ces travaux m'ont amenée à travailler sur **différents territoires**, principalement au Nord de la Méditerranée, sur différents types de systèmes agricoles (systèmes rizicoles Camarguais, lavandicoles en Provence, viticoles dans l'Hérault). Pour ce faire, j'ai construit différents

partenariats avec les parties prenantes locales pertinentes, mais également avec des chercheurs de différentes disciplines, spécialistes de ces cultures, des outils et méthodes mobilisés, ou de l'enjeu spécifique étudié (agronomes spécialistes d'une culture, d'une technique, d'un modèle ; chercheurs en climatologie, sociologues, modélisateurs des socio-écosystèmes, économistes, chercheurs en hydrologie, selon les territoires et problèmes de conception). Dans le cadre de mes recherches, je coordonne, seule ou à plusieurs, des Work Packages de projet nationaux et internationaux (Biodiversify, BeCreative, Ripp-Viti). J'ai contribué à 29 publications en anglais avec facteur d'impact (dont 13 en 1ère ou co-1ère auteure, et 4 en dernier auteure), plusieurs chapitres d'ouvrages et articles à destination des utilisateurs de la recherche. J'ai encadré plusieurs étudiants et jeunes diplômé.e.s dans le cadre de mes travaux : des stagiaires (10 stages de Master ou Ingénieur), doctorantes (3 dont 1 thèse soutenue), ou ingénieur.e.s recruté.e.s en CDD (2). Je participe également, de manière ponctuelle, à des activités d'enseignement coordonnés par des collègues de l'Institut Agro-Montpellier membres de l'UMR Innovation.

Enfin, je participe à plusieurs comités scientifiques et à la co-animation de plusieurs réseaux, et ceci pour trois raisons principales : (**1) partager mes avancées et mes réflexions méthodologiques avec les collègues,** pour les croiser avec leurs avancées et réflexions, de manière à réfléchir ensemble à des projets et orientations communs ; (2) **contribuer à définir les stratégies de recherche à plusieurs échelles** (groupe CLIMAT, collectif Actina, conseil scientifique ACT), en mettant notamment en lumière les apports et spécificités de l'agronomie système ; (3) **susciter des collaborations** à la fois pour mes projets, et pour les projets de mes collègues. Mes participations ont une visée double : (1) me permettre de découvrir de **nouvelles méthodes et de nouveaux objets**, portés par d'autres collectifs de recherche, dont je pourrais me saisir dans de futurs travaux de recherche (groupe des agronomes ACT, conseils scientifiques ACT, Alenya et ITEPMAI) ; (2) pouvoir apporter, lorsque cela est opportun et justifié, **mon expertise méthodologique et disciplinaire** au sein de ces instances (ex. conseils scientifiques ACT, Alenya et ITEPMAI).

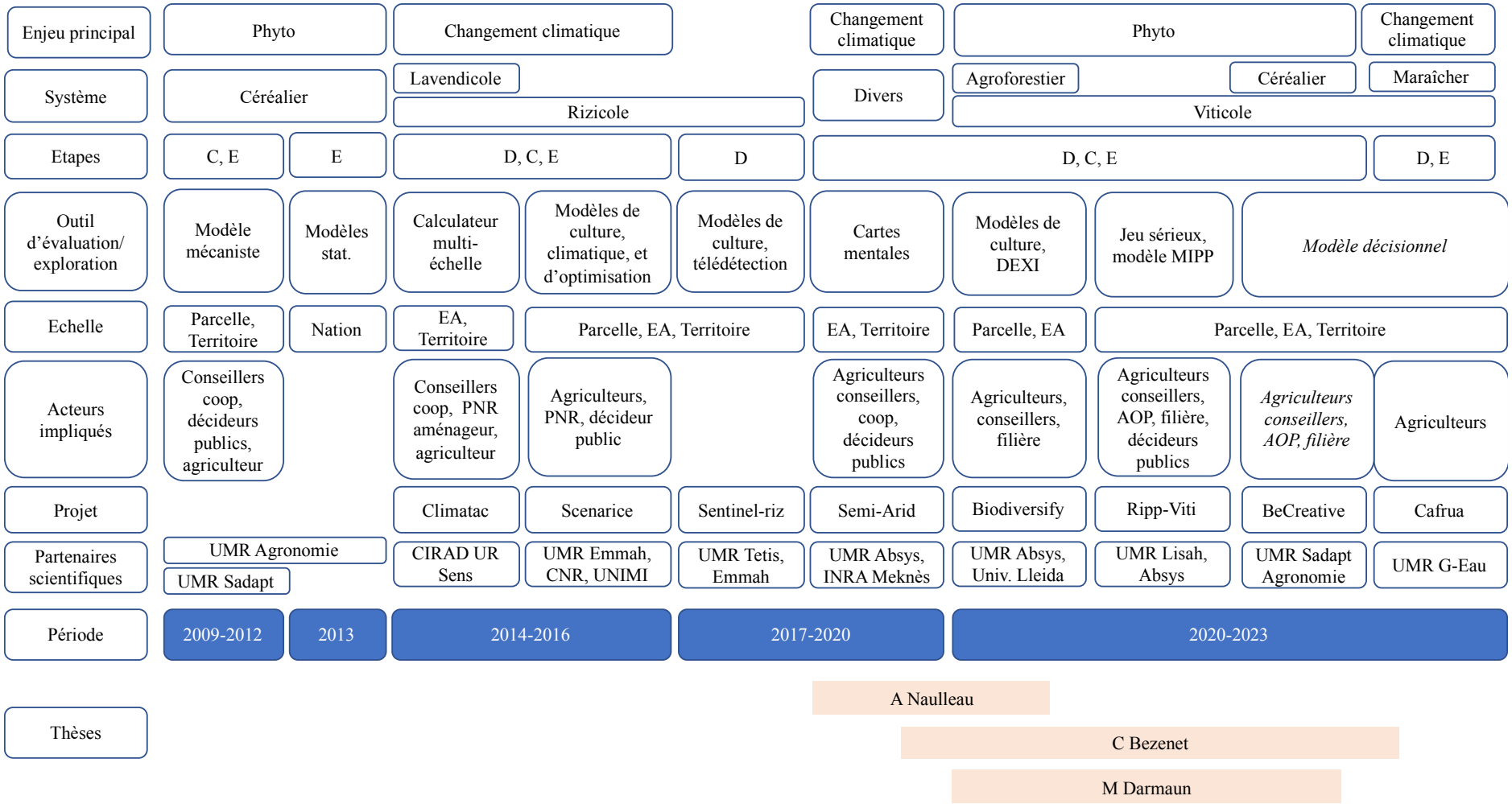


Figure 1. Étapes de mon parcours, principaux enjeux (Phyto : réduction des usages et impacts des produits phytosanitaires ; CC : adaptation au changement climatique), systèmes, étapes (D : Diagnostic, C : Conception, E : Évaluation), outils, parties prenantes, projets et partenaires pour la co-conception de systèmes.
En bas du schéma sont indiqués mes co-encadrements de thèse (en orange). En italique sont indiqués les partenariats et outils envisagés (projets en cours). Ne sont mentionnés ici que les projets pour lesquels j'ai eu une contribution spécifique et importante.

2.2 ENJEUX, CADRAGE THEORIQUE, PROBLEMATIQUE ET DEMARCHE DE RECHERCHE

2.2.1 Pourquoi concevoir de nouveaux systèmes agricoles ?

Si les systèmes agricoles ont toujours été confrontés à des défis et enjeux, certains d'entre eux se font de plus en plus prégnants. Je focaliserai ici sur deux d'entre eux : le changement climatique (adaptation et mitigation), et les impacts environnementaux (au sens large) pour lesquels des pressions sociétales, et législatives, sont à l'œuvre.

Depuis la fin de la 2nde guerre mondiale, un modèle agricole « moderne », productiviste, s'est imposé dans les pays développés (Stoate et al., 2001). Si ce modèle a permis d'accroître fortement les rendements (Pretty, 2008), les externalités négatives de ces systèmes posent problème et remettent en question leur durabilité (Foley et al., 2011). Ce modèle repose en effet sur un usage massif de fertilisants synthétiques et de pesticides (Pretty, 2008), qui génèrent des pollutions importantes, par exemple de l'eau (nitrates, résidus de pesticides). Du fait de leur utilisation massive dans l'agriculture moderne (Stoate et al., 2001), les impacts des pesticides sont reconnus délétères pour l'environnement et la santé humaine (Enserink et al., 2013). Les menaces pour la santé humaine concernent à la fois les applicateurs de pesticides et les populations rurales (Alavanja et al., 2004 ; Elbaz et al., 2009). Les menaces pour la santé des écosystèmes concernent tous les compartiments environnementaux, le sol, l'eau et l'air, qui sont actuellement pollués par les pesticides, soit par application directe, soit par contamination secondaire via les voies atmosphériques ou hydrologiques. En outre, cette modernisation post seconde guerre mondiale s'est également traduite en une simplification des systèmes de culture et des paysages (Stoate et al., 2001), qui a rendu les agrosystèmes plus sensibles aux ravageurs et aux maladies (Meehan et al., 2011), nécessitant ainsi un usage encore plus intense des pesticides.

Ces externalités négatives ont poussé les gouvernements, sous la pression des sociétés civiles, à mettre en place des politiques pour limiter les pollutions générées par les systèmes agricoles : Directive Cadre sur l'Eau (Page et Kaika, 2003), Directive Nitrates, Plans d'actions pour réduire l'usage ou l'impact des pesticides (Barzman et Dachbrodt-Saaydeh, 2011). En parallèle, la population mondiale continue de croître, et la demande alimentaire devrait augmenter de 35 à 56 % entre 2010 et 2050 (van Dijk et al., 2021). Les systèmes agricoles se retrouvent donc face à un dilemme : nourrir une population croissante en augmentant la production, tout en réduisant leurs impacts environnementaux (Foley et al., 2011) et leurs usages de ressources non renouvelables.

Les systèmes agricoles font également face à un autre problème majeur : le changement climatique (CC), dont l'agriculture est en partie responsable (2nd émetteur de gaz à effet de serre (GES) en France avec 19% des émissions, Ministère de la Transition Écologique, 2021). Les prévisions sont alarmistes : le GIEC rapporte, en 2019, que « le changement climatique, notamment l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes extrêmes, a eu un impact négatif sur la sécurité alimentaire et les écosystèmes terrestres et a contribué à la désertification et à la dégradation des sols dans de nombreuses régions » (IPCC, 2019). Le changement climatique devrait affecter la production agricole dans la plupart des régions européennes, mais différemment entre le nord et le sud de l'Europe (Bindi and Olesen, 2011 ; Falloon and Betts, 2010 ; Maracchi et al., 2005 ; Miraglia et al., 2009 ; Olesen et al., 2007). Ces conséquences dépendent à la fois des types de cultures, de leur réponse physiologique aux changements, et de la magnitude de ces changements en termes de teneur en CO_2 atmosphérique, de températures et de précipitations (Makowski et al., 2020). Alors que le changement climatique pourrait avoir des effets positifs sur la production agricole dans le Nord, les régions du Sud pourraient être confrontées à des pénuries d'eau et à des événements extrêmes entraînant une baisse des rendements, notamment dans les régions méditerranéennes (Bindi and Olesen, 2011 ; Maracchi et al., 2005 ; Miraglia et al., 2009). Le changement climatique se traduit ainsi, pour les systèmes agricoles, par des changements tendanciels, et des évènements ponctuels brutaux (ex. températures extrêmes en 2019 dans le Sud de la France).

Dans mes recherches, j'ai travaillé sur deux enjeux majeurs auxquels les systèmes agricoles doivent répondre (entre autres enjeux : voir Meynard et al., 2012[1]) : **(1) réduire leurs externalités négatives en particulier liées aux pesticides, pour répondre aux demandes sociétales et aux évolutions règlementaires ; (2) s'adapter au changement climatique, à différents horizons de temps.**

[1] Meynard et al. (2012) soulignent quatre facteurs de changement principaux poussant les systèmes agricoles à changer : (1) le rôle de l'agriculture dans la détérioration de l'environnement ; (2) l'évolution de la demande pour des produits alimentaires et non-alimentaires ; (3) le travail et le revenu des agriculteurs dans un monde globalisé ; (4) l'évolution de la place de l'agriculture dans les territoires.

2.2.2 Pourquoi concevoir des systèmes agricoles innovants avec les parties prenantes[2] ?

L'implication des porteurs d'enjeux dans les processus décisionnels pour la gestion des ressources est reconnue comme un **moyen efficace pour définir des décisions/solutions plus réalistes et durables**, du fait de la prise en compte d'informations plus ancrées sur le terrain et de l'implication des personnes concernées dans les décisions (Reed, 2008). Ces solutions, construites localement, sont généralement plus adaptées que des solutions conçues de manière plus générique (Brandenburg et al., 1995), en particulier quand les différentes parties prenantes ont des demandes/stratégies contradictoires (Anderson et al., 1998). Impliquer les parties prenantes agricoles peut ainsi être utile pour construire les solutions/leviers efficaces mobilisables localement. Ainsi, Meynard et al. (2012) soulignent que « les agriculteurs et autres parties prenantes doivent être considérés comme des acteurs des processus d'innovation, et non les récepteurs des inventions ».

Pour les questions à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation agricole, mais également des échelles plus larges (ex. territoire, région), **la conception de systèmes** modifiant l'utilisation des terres (rotations, itinéraires techniques) peut ainsi bénéficier d'une approche participative. Différentes études ont montré **l'intérêt d'impliquer les parties prenantes pour concevoir des systèmes agricoles en vue d'atteindre des objectifs collectifs**, en particulier si la coordination de leurs actions est nécessaire pour promouvoir des actions efficaces au regard de la problématique (par exemple sur les risques de ruissellement érosif, Souchère et al., 2010, ou sur la gestion de l'eau dans les bassins versants, Becu et al., 2008). En effet, les parties prenantes locales prennent ou influencent les décisions relatives à la production agricole et à l'évolution des paysages (Primdahl, 1999) ; il est donc pertinent qu'elles proposent des pistes de solutions aux problèmes posés (Voinov and Gaddis, 2008), et leur ancrage local garantit une adaptation des solutions aux contextes socioculturels et environnementaux locaux (Reed, 2008). Ainsi, McGranahan (2014) propose d'élaborer des changements considérant **les conditions réelles des parties prenantes pour favoriser les modifications de pratiques.** Ces arguments plaident ainsi pour des approches partant du terrain, et non top-down pour favoriser le développement et la mise en œuvre de solutions face aux problèmes que rencontrent les producteurs (Faure et

[2] Une partie prenante (« *stakeholder »,* aussi traduit par porteur d'enjeu) est définie comme « un individu ou un groupe influencé par et pouvant influencer (directement ou indirectement) le sujet d'intérêt » (Engi and Glicken, 1995). Une « partie prenante » est un terme relatif, elle doit être définie par rapport à la thématique étudiée (Glicken, 2000). Grimble et Wellard (1997) différencient les partie prenantes « directes » des parties prenantes « indirectes » selon qu'elles affectent ou sont affectées, i.e. qu'elles ont une influence ou sont influencées par les décisions liées à la gestion de la ressource considérée (Leenhardt et al., 2012).

al., 2010). L'étape d'évaluation doit également être en synergie avec la conception car c'est pendant la conception que les parties prenantes révèlent leurs critères d'évaluation (Ravier et al., 2018).

Dans mes travaux, j'ai ainsi choisi de travailler en impliquant les parties prenantes des territoires, dont les producteurs et/ou leurs représentants, pour mettre en œuvre des approches partant du terrain, et ainsi concevoir des systèmes localisés, adaptés aux contraintes et opportunités locales perçues par les parties prenantes impliquées. Ceci interroge (1) le choix des parties prenantes, en particulier pour **des systèmes à large échelle** (bassin versant, petite région) ; dans mes travaux j'ai essentiellement impliqué **des parties prenantes agricoles** (agriculteurs, représentants de coopératives, de syndicats de producteurs, Chambre d'Agriculture) **et environnementales publiques (**représentants de Agence de l'Eau, de Parc Naturels Régionaux), **pour représenter leur diversité (**ex. diversité de systèmes agricoles et des enjeux) **et les différents niveaux de décision** (ex. choix des cultures, rotations et itinéraires techniques) **des parties prenantes, sous de potentielles contraintes ou opportunités portées par les parties prenantes environnementales. Je justifie ce choix de ne pas élargir l'arène des parties prenantes (ex. avec des citoyens) du fait de mon objet de conception, qui caractérise en détail les systèmes conçus (rotations, itinéraires techniques, voire leur localisation spatiale), ce qui requiert une compétence forte en agronomie de la part des parties prenantes. Ceci interroge également (2) le rôle et la place des parties prenantes dans le processus de conception**, que j'aborde dans la partie ci-dessous.

2.2.3 Méthodes de conception-évaluation

Pour répondre aux enjeux actuels, la conception de nouveaux systèmes met au cœur l'agronomie, ses approches, ses méthodes et leur renouvellement (Meynard et al., 2012). Salembier et al. (2018) ont caractérisé l'évolution temporelle des approches de la conception en agronomie. Ces auteurs montrent la place croissante prise, dans les méthodes des agronomes de la conception, par **(1) la problématisation de la conception, (2) les connaissances de natures diverses, (3) l'interdisciplinarité et (4) les différentes parties prenantes (agriculteurs, autres acteurs locaux).** Les objets de la conception sont également divers, et ont évolué dans le temps. Prost et al. (2017) distinguent cinq catégories d'objets : **(1) les organismes vivants** (variétés, races, systèmes de culture ou de production) **; (2) les paysages ; (3), les outils d'aide à la décision ; (4) les outils agricoles** (ex. tracteurs) **; et (5) les intrants** (ex. fertilisants, pesticides). Les échelles (plante, parcelle, exploitation, paysage), objectifs (mettre à disposition une invention, aider à la décision, construire une innovation), et sources

des connaissances (implication des parties prenantes ou non) associés à la conception de ces différents objets diffèrent, et impliquent un gradient de prise en compte du système (tout ou partie de l'itinéraire technique, du système de culture, du paysage ; prise en compte des interrelations). **Dans mes travaux, j'ai choisi de m'intéresser à des échelles spatiales supra-parcellaires : le territoire, ou le bassin versant.** Le terme de territoire étant polysémique, je le définis comme (1) un espace borné spatialement, relativement homogène en termes d'environnement biophysique, et défini par sa configuration paysagère, (2) un espace décisionnel quant au développement socio-économique et environnemental, et (3) un espace « d'appartenance sociale » (adapté de Gumuschian, 2002 ; Le Bail, 2005 ; Papy, 2001). Je distingue ici le territoire du bassin versant, ce dernier n'étant pas nécessairement un espace d'appartenance sociale, mais davantage un espace de fonctionnement biophysique. **Du fait de cette échelle territoriale,** je travaille à la **conception de systèmes agricoles, localisés spatialement au sein du territoire,** y compris en intégrant des modifications de l'emprise des zones agricoles**. J'ai l'ambition d'intégrer, dans le processus de conception, les connaissances portées par différentes parties prenantes :** (1) les parties prenantes **intra-territoriales** (agriculteurs, conseillers, organismes de gestion) ; (2) les parties prenantes **à rayon d'action/de connaissances plus larges** (instituts techniques, filières) et (3) **les scientifiques.** Je mets donc en œuvre des collaborations scientifiques à la fois avec des agronomes (ex. agronomes spécialistes d'une culture, d'une technique, d'un modèle), avec des chercheurs en climatologie, des sociologues, des modélisateurs des socio-écosystèmes, des économistes, ou des chercheurs en hydrologie, selon les territoires et problèmes de conception. **Les objets conçus sont associés à différents niveaux de changement**, qui souvent s'articulent, et peuvent être qualifiés selon leur principe : augmenter l'efficience, substituer, ou concevoir (Hill and MacRae, 1996). Pour faire face aux enjeux actuels (ex. protection intégrée des cultures, diminution des pollutions), plusieurs auteurs présentent la conception comme nécessaire (Jacquet et al., 2022 ; Meynard et al., 2012). Cette conception postule que des changements forts dans les systèmes agricoles (par opposition à la substitution par exemple) sont nécessaires, et ce à différents niveaux du système. J'insiste sur la dimension systémique des changements pour la conception : ce n'est pas changer une technique, un intrant, une variété, mais bien **changer de manière cohérente** les différents éléments de l'itinéraire technique, du système de culture, voire leur localisation dans le territoire. Meynard et Casabianca (2012) distinguent deux approches pour la conception de systèmes innovants : les approches « de novo » et les approches « pas à pas », qui diffèrent par les dynamiques et caractéristiques du processus de conception. L'approche « de novo » cherche à explorer des

solutions en rupture, en ateliers de conception, appuyés ou non d'outils de simulation numérique, pour ouvrir des possibles (approche scénarios par exemple). L'approche « pas à pas » vise à explorer des changements incrémentaux, plus réalistes, permettant de penser la transition vers des systèmes permettant d'atteindre les nouveaux objectifs. **Dans mes travaux, j'ai fait le choix de me positionner davantage dans les approches *de novo*, au sens où plusieurs éléments des systèmes agricoles sont modifiés de manière simultanée, et ce à différents endroits (dans différentes exploitations agricoles) du territoire étudié.**

De nombreuses méthodes et démarches de conception ont été proposées et testées par des agronomes. Meynard et Jeuffroy (2021) ont récemment proposé une typologie de méthodes pour stimuler la conception (en agro-écologie), qui distingue cinq types : la **traque aux innovations d'agriculteurs** (Salembier et al., 2021), les **expérimentations systèmes** (Colnenne-David et al., 2017), **la construction et la mise à disposition de bases de connaissances** (Soulignac et al., 2019), les **méthodes de conception participative** (Lacombe et al., 2018) et la **scénarisation pour la gestion des ressources territoriales** (Barreteau et al., 2003). Cette dernière méthode s'appuie sur des modèles pour évaluer les systèmes conçus, cette évaluation étant ensuite mise en débat avec les parties prenantes (co-évaluation). Ces approches de simulation permettent de conduire des expérimentations virtuelles impossibles à mener dans le monde réel (Legg, 2004), du fait de l'échelle temporelle ou spatiale des processus mis en jeu, ou d'un blocage sociétal face à des changements jugés non faisables *a priori*, ou non acceptables initialement par les parties prenantes. **Ces approches mettent en exergue quatre caractéristiques clés dans les démarches de conception : (1) la place et le rôle de la participation des parties prenantes et (2) des outils (Le Gal et al., 2011), (3) le degré de rupture avec les systèmes existants (Meynard et al., 2012) et (4) la place des connaissances à mobiliser et à produire dans le processus de conception (Meynard et Jeuffroy, 2021).**

Les systèmes conçus, quelles que soient leurs échelles temporelles et spatiales, visent à atteindre un ou des objectifs, qui sont fixés au début de la démarche (par les chercheurs, par les parties prenantes, ou en partenariat), et peuvent ensuite évoluer, se préciser ou s'élargir au gré du déroulement du processus de conception. Selon Le Masson et al. (2006), ceci distingue la conception réglée de la conception innovante. **L'objectif de la conception réglée est de procéder à des améliorations progressives** (de produits, de technologies, etc.), avec des objectifs définis à l'avance et qui ne changeront pas. A l'inverse, **la conception innovante met en œuvre un processus d'exploration face à de nouvelles attentes**, qui vont amener les objectifs à évoluer dans le temps. **L'évaluation de l'atteinte de ces objectifs est une étape importante d'un processus de conception** (Debaeke et al., 2009 ; Martin et al., 2013). Pour

les chercheurs, cette étape peut être menée par des expérimentations (ex. Colnenne-David et al., 2017 ; Debaeke et al., 2009 ; Deytieux et al., 2016) ou à l'aide de modèles. Ces modèles peuvent être d'une grande diversité : statiques ou dynamiques, basés sur des processus ou non, à des échelles spatiales et temporelles variées. Dans les approches utilisant des modèles, certaines approches placent le modèle au cœur de l'approche de conception (approches n'impliquant pas toujours les parties prenantes (ex. optimisation)), où le modèle contraint les objectifs de conception, les leviers de changement mobilisables, etc. (ex. Bergez et al., 2010 ; Ould-Sidi and Lescourret, 2011). **D'autres approches utilisent le modèle comme un artefact**[3] **assistant le processus de conception** (Martin et al., 2013). Dans ces approches, le modèle est un outil pour aider à explorer, et c'est « la conceptualisation du problème de conception qui est au cœur du processus » (Martin et al., 2013). Ces modèles constituent une interface entre les chercheurs et les parties prenantes (Martin et al., 2013), et peuvent ainsi être considérés comme des objets intermédiaires permettant de stimuler le partage et l'apprentissage collectif (Leigh Star, 2010). **Si l'utilisation de modèles (conceptuels, numériques) est loin d'être obligatoire dans les processus de conception, j'ai fait le choix de m'appuyer sur différents types de modèles dans mes travaux de recherche, avec l'ambition de les utiliser davantage comme des artefacts, que comme des finalités.** Je cherche à les utiliser comme **des outils** permettant **d'enrichir**, et non de contraindre, **le processus d'exploration du changement, à deux niveaux principaux : (1) aider à définir le problème/l'enjeu de la conception** (que représenter, pourquoi et comment) en favorisant le partage de points de vue des parties prenantes **; (2) évaluer les performances des systèmes conçus vis-à-vis des objectifs et enjeux.**

2.2.4 Problématique et posture de recherche

Face aux enjeux actuels et à venir, les agronomes (chercheurs et praticiens) doivent participer à concevoir et à évaluer des systèmes agricoles aptes à répondre à des critères de performance multiples, à la définition desquels contribuent une diversité de parties prenantes : celles qui les mettent en œuvre, et celles intervenant à différentes échelles du territoire ou des filières. Dans ce cadre, en tant que chercheure en agronomie, **mon rôle est de produire et mettre à l'épreuve des méthodes et des outils pour accompagner ces parties prenantes dans la conception et l'évaluation de systèmes agricoles innovants répondant à ces enjeux**. Les performances des systèmes agricoles sont à considérer à des échelles d'espace et de temps multiples allant de la

[3] Martin et al. (2013) définissent les artefacts comme des éléments matériels ou abstraits créés avec les connaissances des parties prenantes lors du processus de conception. March et Smith (1995) distinguent quatre type d'artefacts : les constructions figuratives, les modèles, les méthodes et les instanciations (mises en œuvre).

parcelle, à l'exploitation agricole et à la région agricole, de l'adaptation à court terme aux évolutions de long terme. Ces performances sont multiples, et peuvent porter sur des critères productifs (ex. rendement, qualité), économiques (ex. marge brute, temps de travail) et/ou environnementaux (ex. consommation de carburants, utilisation des pesticides, qualité de l'eau). L'importance de ces performances diffère entre les parties prenantes : la définition de la multi-performance de l'agriculture dépend donc des territoires et de ses enjeux, et je l'adapte au cas par cas. De fait, la vision de la performance dépend du point de vue de celui qui l'évalue (évaluation subjective / perception ; exemple pour la résilience dans Jones et Tanner, 2017 ; Perrin et Martin, 2021), ce qui distingue l'approche descendante excluant les parties prenantes et l'approche ascendante, « basée sur la communauté » et reposant donc sur les parties prenantes (Reed et al., 2006). La co-définition de ces critères d'évaluation est une manière pertinente de prendre en compte les perceptions des parties prenantes. **Dans mes recherches, j'ai eu l'objectif de mettre en œuvre des évaluations multicritères et multi-échelles des systèmes co-conçus, s'appuyant sur la co-définition, ou *a minima* le partage et la critique avec les parties prenantes des critères d'évaluation utilisés.**

Mes activités de recherche portent sur la conception et l'évaluation participatives de systèmes agricoles répondant à deux enjeux : changement climatique (adaptation essentiellement), et réduction de l'usage des produits phytosanitaires et de leurs impacts (en particulier environnementaux). Mon objectif est de produire et de mettre à l'épreuve des démarches (voire des outils) qui permettent de concevoir et d'évaluer, avec des parties prenantes locales, des systèmes agricoles innovants multi-performants **à plusieurs échelles** (exploitation agricole, territoire), la multi-performance étant définie avec les parties prenantes locales. Dans tous mes travaux, la pérennité des systèmes agricoles, leurs transformations face aux enjeux (dont changement climatique, nécessaire réduction des intrants), et leurs performances actuelles et futures (en particulier économiques), sont au cœur des préoccupations des parties prenantes locales. Dans mes travaux, **la conception et l'évaluation** sont donc pensées conjointement, avec les caractéristiques suivantes :

- l'essentiel de mes travaux impliquent les **parties prenantes** / acteurs, pour les raisons mentionnées §2.2.2 : le partage des représentations et des connaissances en collectif permet d'éclairer les visions du système agricole, de son état actuel et de ses possibles futurs ; ces travaux collectifs permettent aussi d'élargir les connaissances à mobiliser dans le processus de conception ;
- la majorité de mes travaux mobilisent des **outils pour l'évaluation *ex ante* des systèmes innovants**. Ces outils peuvent être quantitatifs (modèles de différentes natures :

bioéconomique, basé sur des processus biophysiques) ou qualitatifs, et appliqués à différentes échelles (exploitation agricole, région). La diversité des outils que j'ai mobilisés correspond **à une ambition de m'adapter au contexte particulier du territoire et de l'enjeu étudié** (comme suggéré par Voinov et al., 2018) ;

- mes travaux impliquent des horizons temporels principalement de moyen et long termes. Pour mes travaux sur le changement climatique en particulier, j'ai fait le choix de développer des approches de **scénarisation**[4], au contraire d'études s'intéressant aux changements possibles face la plus grande variabilité climatique (dont les chocs) ressentie par les agriculteurs (Andrieu et al., 2019). J'ai fait ce choix car se projeter à plus **long terme** permet de s'éloigner du cadre actuel de production (i.e. avec les contraintes, menaces et opportunités actuelles) et permet ainsi aux parties prenantes de se projeter dans des futurs différents. Ceci favorise ainsi la créativité (Alcamo and Ribeiro, 2001), pour concevoir des systèmes innovants moins dépendants des systèmes actuels et explorer des changements plus en rupture. Cette méthode de scénarisation me semble particulièrement adaptée pour concevoir l'adaptation à long terme aux changements climatiques, en se projetant dans des futurs climatiques très différents, illustrés par les projections climatiques futures. Pour mes travaux sur la réduction des usages et impacts des produits phytosanitaires, j'ai mobilisé des approches mobilisant des pas de temps différents (scénarios de long terme vs. stratégies[5] de plus court terme), qui ont amené les parties prenantes à explorer des modifications possibles à différents horizons de temps.

Dans ce cadre, ma problématique est méthodologique : **Quelles démarches de conception-évaluation pour accompagner les parties prenantes locales dans l'émergence de futurs systèmes agricoles acceptables et répondant aux enjeux locaux et globaux ?** Le terme « acceptable » de cette question implique de qualifier, avec les parties prenantes locales, la faisabilité des systèmes innovants, et leur conditionnalité à des facteurs incertains (ex. subventions, politiques publiques, disponibilité de l'eau).

Du point de vue méthodologique, cette question demande de s'interroger sur les méthodes de conception, les méthodes d'évaluation, les interactions entre les deux, et la place et le rôle des parties prenantes locales dans la démarche. Par rapport aux travaux présentés précédemment, mes travaux présentent trois originalités principales. (1) Du fait de mon échelle principale de travail, le **territoire/bassin versant**, je prends en compte, dans les processus de conception, **la**

[4] van Notten (2005) définit les scénarios comme « des descriptions logiques et cohérentes de situations futures hypothétiques qui reflètent des points de vue différents sur des évolutions passées, présentes et futures et qui peuvent servir de fondement à des actions ».

[5] Je considère la stratégie comme un ensemble de mesures/solutions cohérentes applicables à court terme, ne considérant pas de facteur de changement exogène comme dans un scénario.

diversité des systèmes de culture et d'exploitation présents dans les territoires. Ceci amène à concevoir plusieurs systèmes, dont les changements dépendent à la fois de leurs caractéristiques initiales (échelle exploitation), mais également d'évolutions communes (changement climatique, règlementation, filière, etc.). Cette conception simultanée permet de **croiser les options de changements**, en dépassant (partiellement) la réflexion « système par système ». Les processus de conception menés dans mes travaux impliquent ainsi une diversité de parties prenantes : **une diversité d'agriculteurs** (différents labels, différentes productions), **de parties prenantes agricoles** (coopératives, conseillers agricoles), mais également **de parties prenantes portant des questions environnementales** en lien direct avec les pratiques agricoles (Parc Naturel Régional, Agence de l'Eau). (2) Une autre originalité porte sur **l'utilisation de modèles numériques dans des processus de conception**, avec pour objectif que ceux-ci ne constituent pas un frein à l'exploration, mais aident à la formaliser (modèle conceptuel), ou contribuent à l'étape d'évaluation des systèmes conçus (simulation). Je cherche ainsi à **combiner des informations qualitatives et quantitatives** au sein des processus de conception-évaluation. (3) Une 3ème originalité, liée aux deux premières, est transversale à la majorité de mes travaux. Elle porte sur **l'évaluation multicritère et multi-échelle des systèmes conçus**, qui permet de considérer les performances individuelles et collectives des différents systèmes et des différentes exploitations, vis-à-vis de l'enjeu principal (ex. s'adapter au changement climatique) et de mettre en lumière leurs éventuelles limites (ex. besoins en eau d'irrigation). Ces différents niveaux d'évaluation permettent aux parties prenantes de se saisir de ces performances multiples pour concevoir en réponse aux enjeux, en considérant à la fois les évolutions visées, et les éventuelles évolutions jugées moins souhaitables.

La version appliquée dans mes travaux de cette problématique peut ainsi être déclinée comme :

Au sein des territoires, quelles solutions de conception sont imaginées par les parties prenantes, accompagnées par les chercheurs, pour faire face aux enjeux actuels et futurs ? Quelles sont les performances de ces futurs systèmes possibles ?

2.2.5 Caractéristiques génériques des démarches mobilisées dans mes travaux

Comme indiqué plus haut, ma démarche a articulé trois étapes : diagnostic, conception, et évaluation (Figure 2). Si ces étapes sont présentées de manière linéaire, il y a en fait des allers-retours entre ces étapes. Par exemple, la conception peut mettre en lumière de nouveaux enjeux ou parties prenantes, et l'évaluation peut amener à concevoir de nouveaux systèmes, voire à identifier de nouveaux enjeux pouvant amener à repartir sur une phase de diagnostic.

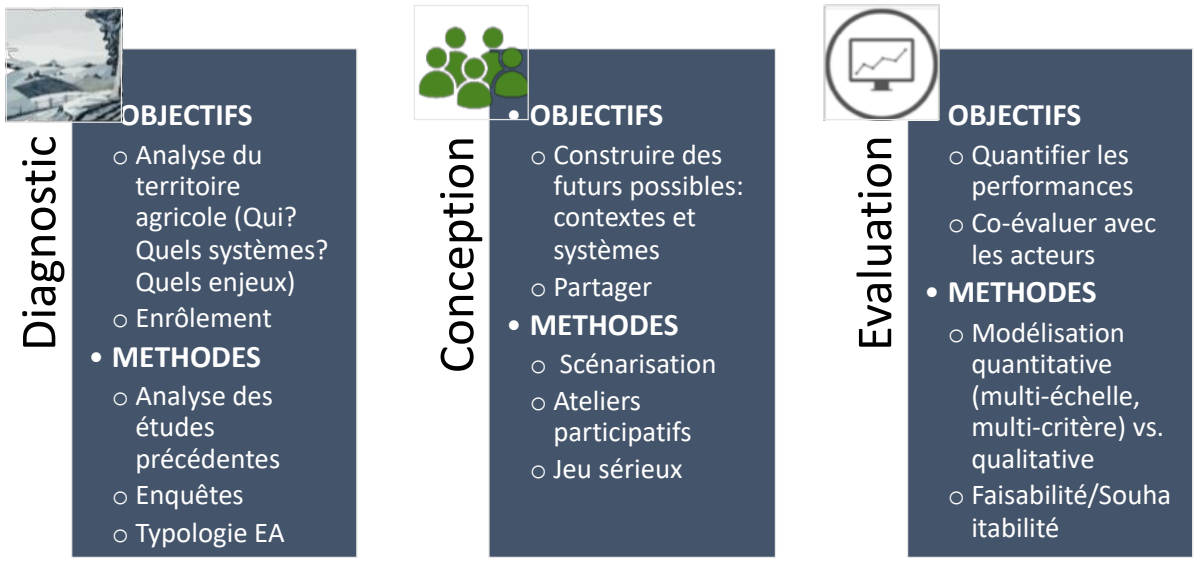


Figure 2. Objectifs et méthodes des trois étapes de ma démarche. Images libres de droit.

Mon objet de recherche principal a porté sur les systèmes agricoles d'un territoire donné, à travers la conception, l'analyse et la modélisation des performances de plusieurs entités (parcelle cultivée, exploitation agricole et territoire) et de leurs interactions. Le territoire agricole, lieu de coexistence et/ou d'interactions entre plusieurs exploitations agricoles, est une échelle intermédiaire, entre l'exploitation agricole et la région administrative. Cette échelle permet de rendre visibles les impacts agrégés des exploitations agricoles (Meynard, 2008 ; Thieu et al., 2011). Plus largement, le territoire regroupe également des activités (et des acteurs) non agricoles, mais qui peuvent être en interaction avec l'agriculture (ex. tourisme, associations environnementales).

Diagnostic du territoire agricole

Dans mes travaux, la 1ère étape a été le diagnostic du territoire agricole, et j'y ai associé deux objectifs spécifiques : (1) caractériser le **territoire** en termes **des systèmes agricoles dans leur diversité**, de **ses enjeux spécifiques** et des **transformations imaginées** pour y répondre, et des **parties prenantes** participant à ces systèmes agricoles ; (2) **enrôler** les parties prenantes dans la démarche participative. Dans mes approches, la caractérisation des systèmes agricoles a été en général réalisée à l'aide de plusieurs méthodes mobilisant différents types d'informations : analyse de bases de données nationales (ex. RPG pour décrire les assolements à l'échelle des exploitations), mobilisation de données existantes (précédentes études ou bases de données sur la zone), en général complétées par des enquêtes individuelles. Du fait de mes échelles d'analyse principales (exploitations agricoles et territoire), j'ai en général simplifié ces informations en **une typologie d'exploitations, basée sur des méthodes statistiques** (ex.

ACP, Classification hiérarchique), **et sur l'expertise des parties prenantes**. J'ai choisi de mobiliser des typologies d'exploitation du fait de la difficulté de construire des informations exhaustives sur les systèmes agricoles à ces échelles larges. Ce choix de simplification de la diversité des exploitations réelles au sein d'un territoire s'est basé sur la littérature : les typologies à l'échelle des territoires permettent de limiter le besoin de données à l'échelle des exploitations individuelles (ex. Valbuena et al., 2010), tout en conservant une variabilité entre les types d'exploitation du territoire pour notamment prendre en compte la diversité du processus décisionnel des agriculteurs (Bakker and van Doorn, 2009).

L'identification d'enjeux à l'échelle d'un territoire agricole a impliqué la prise en compte de points de vue multiples sur les performances souhaitables du système agricole (liés aux perceptions de ses enjeux). Pour anticiper et faciliter l'étape suivante de conception, j'ai cherché également, dans cette étape de diagnostic, à identifier avec les parties prenantes **les transformations des systèmes qu'ils imaginaient** pour parvenir à ces performances et répondre aux enjeux. J'ai cherché à identifier ces transformations pour commencer à identifier, avec les parties prenantes, les connaissances nécessaires pour la conception : celles portées localement, et celles pour lesquels des apports extérieurs au territoire pourraient être pertinents. En effet, les connaissances à acquérir, pour concevoir et pouvoir évaluer les systèmes agricoles performants, sont multiples et de natures variées (économiques, techniques, écologiques, sociales, etc.). Je me suis intéressée de manière privilégiée aux parties prenantes agricoles : agriculteurs, conseillers, filières. Selon les enjeux, j'ai impliqué dans mes travaux des acteurs de la gestion de l'eau (Syndicat de bassin versant, Agence de l'Eau, aménageurs), des acteurs en charge de plan de réduction des gaz à effets de serre, des acteurs des Parcs Naturels Régionaux, ou des décideurs publics. J'ai réalisé cette étape de caractérisation des enjeux et des transformations imaginées via des enquêtes auprès de ces parties prenantes. Ces enquêtes m'ont également permis d'identifier les parties prenantes importantes à impliquer dans le processus de conception, et ont participé à l'enrôlement des parties prenantes dans la démarche, et de la problématisation de la situation.

<u>Conception de systèmes innovants considérant différentes options du futur</u>

J'ai réalisé la conception collective des nouveaux systèmes, répondant à un ou plusieurs enjeux, de manière participative. J'ai choisi de débuter le processus de conception collectif par un partage du diagnostic et, le cas échéant, sa modification. L'arène de participants aux ateliers de conception étant en général plus large que les parties prenantes enquêtées, cette étape avait pour objectif de débattre du diagnostic (systèmes actuels, enjeux communs et différents entre systèmes) pour (1) permettre l'expression de tous ; (2) discuter, modifier, raffiner, et compléter

ce diagnostic ; (3) commencer à construire une vision partagée du territoire (i.e. du système qui sera considéré ensuite) et de ses enjeux.

L'objectif général de cette étape de conception était d'explorer avec les parties prenantes du territoire les futurs systèmes possibles, face aux enjeux identifiés, afin de construire des changements possibles à un horizon temporel défini[6]. La méthode que j'ai choisi d'utiliser de manière privilégiée pour concevoir avec les parties prenantes de futurs systèmes agricoles est la scénarisation. van Notten (2005) décrit les scénarios comme "des descriptions de futurs possibles qui reflètent différentes perspectives sur les développements passés, présents et futurs", consistant en une situation initiale et une description des forces motrices induisant un futur spécifique (Alcamo et Henrichs, 2008). Les scénarios nécessitent l'identification et la prise en compte des principaux facteurs des changements futurs (Dockerty et al., 2006), qui peuvent inclure les enjeux identifiés lors de l'étape de diagnostic. Les causes du changement peuvent être physiques/écologiques (ex. le changement climatique), sociales et/ou économiques (ex. politiques). J'ai choisi de construire les scénarios et leurs nouveaux systèmes associés avec les parties prenantes locales car (1) ceux-ci sont porteurs de connaissances uniques sur leurs systèmes, (2) ils sont les mieux à même d'éliciter les options de changement (à court et moyen termes) et (3) leurs conditions de réalisation. La méthode de scénarisation participative permet alors, comme souligné par Patel et al. (2007) d'identifier des actions à court terme et des options politiques/règlementaires qui pourraient permettre ces changements. Selon Alcamo et Ribeiro (2001), pour être utiles aux parties prenantes, les scénarios doivent être : (1) réalistes, i.e. représenter un futur possible, en essayant d'éviter les situations idéales, ou du pire ; (2) cohérents, i.e. le choix des drivers, et leurs changements, doit être logique (ex. si le système agricole est en difficulté économique, les investissements financiers seront limités) ; (3) contrastés en termes de facteurs de changement et d'adaptations des systèmes, pour éclairer une diversité de contexte et de nouveaux systèmes ; (4) créatifs : l'objectif est d'aller au-delà de la pensée commune (« business as usual ») et de concevoir des systèmes innovants et surprenants. Pour que les scénarios co-construits présentent ces caractéristiques, j'ai mis en place plusieurs actions, pendant, et entre les ateliers de conception. Tout d'abord, la première action visait la **transparence** : présenter ces caractéristiques aux participants, en discuter, puis y revenir lors de la construction pas à pas des scénarios. La deuxième action était **la facilitation** lors des

[6] L'horizon temporel doit être choisi avec les parties prenantes, et présenter deux caractéristiques : (1) être suffisamment proche pour pouvoir faire des hypothèses sur les facteurs de changement ; (2) être suffisamment éloigné pour être créatifs. Dans mes études, j'ai utilisé un horizon de 15 ans, voire plus lointain pour le changement climatique.

ateliers, pour m'assurer *in itinere* de ces caractéristiques, en interrogeant les parties prenantes sur ces caractéristiques pendant la construction pas à pas des scénarios. Selon les territoires, je me suis également appuyée sur des **outils**, comme par exemple la **méthode des quadrants** (s'appuyant sur les deux facteurs de changement principaux, déclinés dans des sens opposés ; van't Klooster and van Asselt, 2006) pour favoriser le contraste entre les scénarios ; ou les **cartes cognitives** (ex. van Vliet et al., 2010) pour assurer la cohérence entre les différents changements de contexte, et les nouveaux systèmes agricoles conçus face à ces changements. **Je visais en effet à ce que ces caractéristiques s'appliquent non seulement aux changements de contexte (facteurs de changement, leur sens et leur magnitude), mais également aux systèmes agricoles conçus.** La troisième action mise en place avait lieu pendant, et entre les ateliers, et consistait en **la rédaction de « narratifs** », c'est-à-dire d'histoires du futur décrivant les changements de contexte, locaux et globaux, et les adaptations des différents types d'exploitation face à ces changements. La construction (en atelier), la rédaction complète et l'analyse (entre les ateliers par les chercheurs) et la discussion (à l'atelier suivant) de ces narratifs permettaient de mettre en lumière si les scénarios construits étaient réalistes, cohérents, créatifs, et contrastés. Mon objectif étant que ces scénarios soient utiles pour les parties prenantes, je « n'imposais » pas ces caractéristiques si celles-ci ne semblaient pas pertinentes aux parties prenantes locales pour explorer le futur de leur territoire. Ainsi, si pour les parties prenantes le scénario « du pire » semblait le plus réaliste, et leur paraissait plausible et utile, alors celui-ci était exploré pendant le processus de conception.

J'ai ainsi mis en œuvre la construction des scénarios avec les parties prenantes locales et des chercheurs lors d'ateliers, pour identifier les facteurs de changements, leurs sens et magnitude, et l'incertitude de ce changement. Dans ces démarches, j'ai impliqué les scientifiques car ils apportent leurs connaissances sur les processus importants, possiblement sur certains leviers de changement, et leurs liens avec le discours des parties prenantes, ce qui permet un échange de connaissances. Ceci permettait *in fine* l'enrichissement les discours des options de changement avec des points de vue « humains » et techniques pour la construction des futurs (Swart et al., 2004).

Sur la base de l'identification collective des facteurs de changement, ceux considérés comme étant les plus incertains et ayant les plus forts impacts étaient organisés pour créer des scénarios narratifs sur les futurs possibles, incluant la description des facteurs de changement, et leurs

impacts[7] sur les systèmes agricoles. Ces narrations étaient alors quantifiées, soit par les parties prenantes elles-mêmes, soit sur la base d'hypothèses élicitées par les parties prenantes et à l'aide de leur expertise, avec un rôle cependant parfois fort du modélisateur. En combinant la construction avec les parties prenantes locales des scénarios narratifs, et la modélisation pour évaluer ces narrations quantifiées, j'ai ainsi fait le choix de combiner les approches participatives et numériques, pour construire des scénarios qualitatifs (souvent réalisés dans la littérature sous forme de narrations construites en atelier) et quantitatifs (selon la typologie proposée par Alcamo and Henrichs, 2008). J'ai fait ce choix car il me semble que chaque dimension apporte des **éléments d'exploration différents aux parties prenantes locales** : (1) la narration permet l'élicitation d'hypothèses sur les changements et leurs conséquences, et permet ainsi la projection et l'anticipation du changement ; (2) la quantification éclaire sur les niveaux de performances, l'atteinte ou non d'objectifs, et met en lumière les possibles évolutions opposées d'indicateurs (ex. la production augmente, mais au détriment de la qualité de l'eau, ou au prix d'une main d'œuvre très élevée) qui vont être centraux pour différentes parties prenantes. Je réalise cette construction narrative et quantitative, comme mentionné plus haut, grâce à des itérations, i.e. au sein d'ateliers successifs comme proposé par Lippe et al. (2011). Cette construction double reste un **défi méthodologique** (ex. Leenhardt et al., 2012), malgré la littérature abondante sur les approches scénarios, en particulier quand le modèle n'est pas co-construit : il y a alors un fort risque que l'une des constructions prenne le pas sur l'autre. Dans les méthodes construites dans mes travaux, **j'ai eu l'ambition** (parfois sans résultat) **que ces deux constructions soient équilibrées**, de manière à constituer les deux types d'éléments d'exploration avec les parties prenantes. Un autre défi méthodologique auquel j'ai cherché à répondre portait sur la réalisation d'approche scénario qualitative et quantitative considérant **plusieurs échelles spatiales** (parcelle, exploitation et territoire). Ce défi était lié à (1) la nécessité de lier des petites échelles (champ, exploitation) à des échelles plus larges, comme celle des marchés ou du changement climatique (van Ittersum et al., 2008) ; (2) la prise en compte de réponses (modifications des systèmes de culture par exemple) **différenciées des exploitations agricoles** du territoire face à des facteurs de changement communs, mais dont l'impact peut varier selon les exploitations (expositions et capacités d'adaptation différentes). J'ai réalisé le lien micro-macro via la spécification de facteurs de changement à la fois locaux et globaux. Pour ces derniers, leur influence différenciée selon les exploitations était mise en

[7] Ces impacts peuvent être de différents natures, ex. techniques à l'échelle parcellaire et annuelle (variété, modalités de désherbage) et pluriannuelle (rotations), organisationnels (main d'œuvre), en termes d'investissements, et de surfaces cultivées à l'échelle de l'exploitation.

lumière dans les **scénarios narratifs**, dont la quantification obligeait les parties prenantes locales à faire des hypothèses sur ces influences, leur permettant ainsi d'avancer dans leurs réflexions sur ces changements et leurs conséquences. Pour concevoir des changements de systèmes face au changement climatique, je facilitais ce lien micro-macro par un **apport de connaissances**, par exemple par la réalisation et la traduction des projections climatiques locales.

Dans un de mes travaux récents (§2.3.6), j'ai également construit et mobilisé un jeu sérieux pour cette étape de conception de systèmes innovants. Les jeux sérieux ont montré leur potentiel pour générer des apprentissages sur la gestion des systèmes agricoles (Martin et al., 2011), pouvant ainsi être vus comme des outils d'aide à la réflexion vers des systèmes plus durables facilitant le dialogue entre parties prenantes sur la gestion des ressources (Barreteau et al., 2007).

<u>Évaluation multicritères et multi-échelles</u>

Dans mes travaux, l'étape d'évaluation avait l'objectif principal d'éclairer les futurs, avec deux sous-deux objectifs : quantifier les performances associées aux futurs imaginés par les parties prenantes, et co-évaluer avec eux ces futurs possibles. Dans la plupart de mes travaux, j'ai utilisé des modèles numériques pour réaliser cette évaluation multicritère et multi-échelle. Cette évaluation visait à quantifier les effets des systèmes agricoles co-conçus selon les changements dans le système étudié (ex. politiques agro-environnementales, prix) en évaluant, *ex ante*, leurs effets sur divers indicateurs à différentes échelles spatiales, souvent l'exploitation et une échelle plus large comme le territoire. J'ai choisi de réaliser ce type d'évaluation du fait (1) de la diversité des objectifs (productif, environnemental, économique) et des manières d'évaluer les objectifs (indicateurs) des systèmes agricoles des différentes parties prenantes agricoles et environnementaux ; (2) de la diversité des exploitations, de leurs objectifs et capacités de changement, et de leur contribution aux performances du territoire.

Les modèles numériques étaient de types très différents (basés ou non sur des processus, sur de l'optimisation), ce qui conditionnait les connaissances et le temps de développement nécessaire, et le type et la quantité de données nécessaires à leur paramétrage. Comme écrit plus haut, **mon ambition étant que l'aspect quantitatif ne prenne pas le pas sur l'aspect qualitatif** dans les processus de conception que j'ai menés, j'ai souhaité utiliser des outils de simulations disponibles, facilement adaptables ou dont le développement pouvait se faire dans un temps réaliste, et cohérent avec le pas de temps des ateliers. Mon choix d'outils de simulation a été conditionné **par leur pertinence pour la question traitée, le territoire étudié et la gamme de performances importantes pour les parties prenantes**, i.e. pour leur capacité à apporter

aux parties prenantes des informations permettant d'éclairer les performances des systèmes agricoles co-conçus. J'ai ainsi fait le choix de mobiliser différents modèles dans mes travaux (optimisation, mécaniste, calculateur simple), voire de ne pas utiliser de modèle, en privilégiant une approche qualitative pour l'évaluation dans un de mes travaux (§2.3.4).

Comme mentionné plus haut, l'objectif de cette quantification était d'éclairer les parties prenantes sur les niveaux de performances des systèmes conçus, l'atteinte ou non d'objectifs, à travers différents indicateurs. Ceci peut en effet permettre de mettre en exergue des tensions possibles, entre des performances, ou entre des exploitations dont les adaptations ne leur permettraient pas d'atteindre des performances jugées satisfaisantes par eux. Ainsi, l'objectif final de cette qualification ou quantification des performances était de fournir des éléments de réflexion aux parties prenantes impliquées dans la démarche, **pour les aider à se projeter dans différents types de changement de systèmes, conditionnés par des options de futurs possibles**. Dans tous mes travaux, ces résultats étaient donc mis en débat avec les parties prenantes participantes lors d'ateliers, notamment pour (1) étudier ensemble le caractère plausible des futurs imaginés (futurs contextes et futurs systèmes), (2) le caractère souhaitable de ces futurs, et (3) leur faisabilité, en élicitant notamment les verrous à ces changements, par exemple techniques ou économiques, et à la manière dont ils pourraient être levés. A noter que la formalisation de cette dernière étape a été faible dans mes différents travaux, et que la réflexion sur les verrous est restée relativement sommaire, à l'opposé de méthodes dédiées existantes dans la littérature (notamment via l'analyse le long des chaînes de valeurs, le lien avec les politiques publiques, et les facteurs interconnectés responsables de ces verrous ; Magrini et al., 2016; Meynard et al., 2018). De même, je n'évalue pas formellement dans mes travaux les impacts de l'évaluation quantifiée sur les parties prenantes, en termes par exemple d'apprentissages ; seule la démarche globale était évaluée avec les parties prenantes, et de manière simple (discussion ouverte et questionnaire final).

2.2.6 Application de la démarche à six cas d'étude

Dans mes travaux, je considère comme résultats originaux à la fois les méthodes et les produits qu'elles permettent de construire (scénarios, systèmes innovants, évaluation, retours des parties prenantes) ; je présente donc ces deux items dans la suite de ce manuscrit. J'ai choisi de présenter six cas d'études, qui reflètent les méthodes, et les résultats de leurs applications, que j'ai mises en place dans mes recherches. Pour la plupart de ces cas d'études (exception du cas du Saïss au Maroc), une culture est dominante dans les territoires, et les options de diversification sont limitées, notamment par les facteurs pédoclimatiques. J'ai organisé la

présentation de mes résultats chronologiquement, chaque nouveau cas d'étude tentant d'apporter une réponse aux difficultés, limites ou biais constatés dans les précédents cas d'études. Au fur et à mesure de mes travaux, j'ai ainsi cherché à (1) renforcer le rôle des parties prenantes dans les processus de conception-évaluation, en particulier les agriculteurs ; (2) intégrer explicitement l'échelle de l'exploitation agricole dans la conception et l'évaluation, via des typologies d'exploitation ; (3) mieux intégrer la diversité des facteurs de changement ; (4) utiliser/développer des méthodes de plus en plus formalisées pour la construction des scénarios (cartes cognitives, jeu sérieux) ; (5) favoriser le co-développement des critères d'évaluation des systèmes innovants ; de manière à (6) favoriser la co-évaluation des futurs alternatifs co-construits. J'ai utilisé une diversité de modèles d'évaluation, dont la tendance d'évolution, au fil de mes travaux, est leur simplification (Tableau 4). Si toutes les évaluations produites dans mes travaux sont multicritères, elles n'intégraient pas les mêmes aspects, en lien en particulier avec (1) l'élicitation des critères d'évaluation des parties prenantes (et leurs échelles), (2) les modèles d'évaluation, certains intégrant des indicateurs multiples ou plus spécifiques à un enjeu (phoma du colza, usages de l'eau ou des pesticides dans le bassin versant du Rieutort ; Tableau 4). Enfin, si la scénarisation a été ma méthode d'investigation principale, elle n'a pas été mobilisée dans tous les cas présentés, j'ai davantage travaillé à la conception de stratégies de changement dans mes travaux les plus récents, en considérant uniquement un facteur de changement (changement climatique ou réduction des pesticides) (Tableau 4).
Suite à ma thèse, mon choix des cas d'études (type de système agricole, territoire, enjeu) a tout d'abord suivi les orientations de mon équipe de recrutement : devenir des systèmes rizicoles en Camargue et systèmes lavandicoles à Valensole face au changement climatique. Dans mes travaux suivants, mon objectif a été triple : (1) tester mes méthodes de scénarisation sur un terrain « neuf », participant de la stratégie Méditerranéenne de mon unité, de mon département et d'INRAE, en mobilisant des outils plus qualitatifs ; (2) adapter et mettre à l'épreuve mes méthodes sur un autre type de culture (pérenne : la vigne) ; (3) élargir les enjeux des systèmes conçus, en travaillant sur les usages et les impacts des produits phytosanitaires.

Je présente mes activités de recherche sur les six cas d'études (Tableau 4) de la manière suivante : (1) Contexte, problématique appliquée et originalité méthodologique ; (2) Démarche ; (3) Résultats (avec la description de certains produits construits avec les parties prenantes, et le retour des parties prenantes sur les résultats et la démarche) ; (4) Conclusion et bilan partiels, où je mets en lumière les principales limites du cas, auxquelles j'ai cherché à répondre dans les cas d'étude suivants. Chaque partie se centre sur les résultats d'une démarche

participative, et sont complétés par des encadrés complétant les résultats (ex. narratifs, méthodes contribuant au diagnostic - télédétection, modélisation des cultures). Les publications associées sont indiquées telles que dans la liste des publications (§1.8), i.e., ACLX. Je présente ensuite deux types de bilan sur mes travaux : (1) un bilan personnel de mon rôle, y compris d'encadrement scientifique, dans la réalisation des résultats présentés et des enseignements que j'en tire en termes d'atouts, de difficultés et de limites des méthodes mises en œuvre ; (2) une analyse réflexive de mes choix de méthodes et des résultats des cas d'études présentés pour identifier les éléments qui structureront mon projet. Je présente ensuite ma proposition de projet de recherche.

Tableau 4. Principales caractéristiques des méthodes mises en œuvre dans les démarches participatives de mes cas d'études présentés dans les résultats.

Cas d'étude		Phoma du colza	Camargue	Valensole	Saïss	Rieutort	
Enjeu principal		Phyto.	CC	CC	CC	CC	Phyto.
Parties prenantes (+ chercheurs)		Conseillers, filière, décideurs publics, semenciers	Agriculteurs, Parc Naturel, filière, décideur public	Agriculteurs, Parc Naturel, filière, décideur public, aménageur	Agriculteurs, conseillers, filière, décideurs publics	Agriculteurs, conseillers, AOP, filière, coop, décideurs publics	
Conception	Échelle	Parcelle, petite région	Types exploitation	Types exploitation	Types exploitation	Parcelle, zones agroécologiques	Types exploitation
	Vision partagée du système	Modèle conceptuel	(préalable)	Modèle conceptuel	Partage diagnostic	Carto. Participative	Partage diagnostic
	Facteurs de changement	+	+++	+++	+++	-	-
	Outil	-	Méthode des quadrants	-	Cartes cognitives	Carto. Participative	Jeu sérieux
	Scénarios narratifs	-	+++	+++	+++	-	-
	Scénarios (stratégies) quantitatifs	+++	++	+++	-	+++	+++
Evaluation	Échelle	Petite région agricole	Types exploitation, territoire	Types exploitation, zones agroécologiques, territoire	Types exploitation	(exploitation), zones agroécologiques, territoire	Types exploitation, territoire
	Outil	Modèle mécaniste	Modèle bio-économique	Calculateur co-construit	-	Modèle mécaniste	Calculateur
	Co-construction des critères	-	(préalable)	+++	+	++	++
	Critères	Rendement, caractéristiques de la population pathogène	Socio-économiques et environne-mentaux*	Socio-économiques et environnementaux*	Socio-économiques**	Rendement, consommations en eau, (analyse coût bénéfice très simple)	Usages et impacts potentiels des pesticides

*Phyto. : Usages et impacts des produits phytosanitaires ; CC : Changement climatique ; (préalable) : réalisé lors d'études précédentes sur le territoire ; Carto. Cartographie ; - : non pris en compte ou non construit ; *incluant des indicateurs comme les coûts de production, la marge, la production, la part des subventions pour les indicateurs socio-économiques, l'usage des pesticides, de l'eau, de l'énergie pour les indicateurs environnementaux ; ** incluant des indicateurs comme l'accès à la terre, aux subventions, à l'irrigation, aux marchés, et les niveaux de rendements et de revenus.*

2.3 ACTIVITES DE RECHERCHE SUR LA CONCEPTION ET L'EVALUATION PARTICIPATIVES DE SYSTEMES AGRICOLES

Dans les travaux présentés dans cette partie, nous avons exploré, avec les parties prenantes locales, les changements des systèmes agricoles nécessaires pour (1) leur adaptation pour réduire les usages et impacts des produits phytosanitaires (§2.3.1, et §2.3.6), ou (2) leur adaptation aux effets du changement climatique[8] (§2.3.2, §2.3.3, §2.3.4 et §2.3.5). La question appliquée des démarches de conception-évaluation participative était transversale, et peut être formulée ainsi : **quelles solutions de conception sont imaginées par les parties prenantes des territoires, accompagnées par les chercheurs, face à l'enjeu considéré ? Quelles sont les performances de ces futurs systèmes possibles ?** L'originalité méthodologique est précisée pour chaque cas d'étude.

2.3.1 La gestion du phoma du colza dans des territoires céréaliers

J'ai mené ces travaux dans le cadre de ma thèse, au sein des unités Agronomie et Sadapt INRAE à Grignon, sous l'encadrement de Marie-Hélène Jeuffroy et Véronique Souchère. Ma thèse faisait suite à la construction du modèle SIPPOM-WOSR par Elise Pelzer dans le cadre de sa thèse (Lô-Pelzer et al., 2010). Mes travaux de thèse ont donné lieu à quatre publications (ACL11, ACL24, ACL25, ACL28), la plupart ayant été finalisées à l'UMR Innovation.

2.3.1.1 Problématique : gestion spatio-temporelle du phoma du colza

Dans le cadre de ma thèse, je suis partie non de la question d'un territoire, mais d'une question scientifique, la gestion du phoma du colza. Ce bioagresseur (agent fongique *Leptosphaeria maculans*) a été par le passé responsable de fortes pertes de rendement (5 à 20% à l'échelle française ; Aubertot et al., 2004). Le principal levier est l'utilisation de variétés résistantes (Delourme et al., 2006), dont la durabilité peut cependant être faible (Rouxel et al., 2003), du fait du contournement de ces résistances par l'agent pathogène. D'autres leviers sont disponibles pour améliorer la durabilité des résistances : le travail du sol (gestion des résidus), les dates et densités de semis, la gestion de l'azote organique (Aubertot et al., 2004 ; Schneider et al., 2006) et l'application de fongicides. L'organisation temporelle (parcelles sources de spores cultivées en colza l'année n et cibles cultivées l'année n+1) et spatiale (localisation des sources et cibles) des parcelles de colza permet également de gérer la maladie, les agents pathogènes du phoma pouvant être transportés par le vent sur plusieurs kilomètres (Bokor et al., 1975). Un modèle semi-mécaniste, SIPPOM-WOSR (Lô-Pelzer et al., 2010), permet

[8] La question de la contribution des scénarios conçus à l'atténuation est uniquement abordée par le biais d'un indicateur d'émissions de gaz à effet de serre, dans les cas d'étude en Camargue et à Valensole.

d'évaluer, à l'échelle d'une petite région, l'effet de ces différents leviers sur les populations de phoma (qualitativement : structure génétique ; et quantitativement : taille de population) et sur les pertes de rendement. Ce cas d'étude constitue ainsi un exemple pertinent de thématique pour laquelle la composition et l'organisation des systèmes de culture dans le temps et dans l'espace sont importantes, ces éléments résultant des activités des parties prenantes locales.

Pour évaluer des scénarios d'organisation spatiale des systèmes de culture, des scénarios quantitativement décrits sont nécessaires. Dans ce contexte, l'objectif de ma thèse était de concevoir et de mettre à l'épreuve une méthode participative de construction de scénarios sur les futurs systèmes de culture locaux, avec un focus sur la culture du colza et une évaluation de ces scénarios par rapport à la gestion du phoma du colza et à la durabilité des résistances.

Dans les travaux présentés ici, la problématique appliquée abordée est : Quels systèmes de culture, associés à quelle organisation spatiale, conçoivent les parties prenantes face aux changements de contexte possibles ? Quelles sont les performances de ces futurs systèmes pour la gestion du phoma ? Quelles stratégies pour faire face à la maladie ?

L'originalité méthodologique portait sur la combinaison de scénarios quantitatifs, d'un modèle semi-mécaniste préexistant, spatialement explicite et complexe, et de méthodes statistiques pour analyser les résultats des simulations.

2.3.1.2 Démarche : combiner scénarisation et modélisation mécaniste à l'échelle du paysage

La méthode que j'ai développée et mise en œuvre combine l'utilisation de plusieurs outils pour (1) identifier les parties prenantes pertinentes sur la thématique étudiée (enquêtes ; diagrammes moyens d'action/intérêt[9] ; van den Belt et al., 2010) et caractériser les zones d'études (utilisation de bases de données SCEES et RPG) (**étape du diagnostic**) ; (2) construire une vision partagée du fonctionnement de la maladie, des leviers et des parties prenantes agissantes (adapté de la méthode ARDI[10] ; Etienne et al., 2011) ; (3) construire avec les parties prenantes locales des scénarios quantitatifs d'évolution des systèmes de culture sous hypothèses narratives (**étape de conception**); (4) évaluer *ex ante* ces scénarios à l'aide du modèle SIPPOM-WOSR (Lô-Pelzer et al., 2010), analyser leurs résultats et discuter ces résultats avec les parties prenantes locales (**étape d'évaluation**) (ACL28).

J'ai appliqué cette méthode, impliquant trois ateliers, sur deux terrains en France (régions Centre et Picardie), choisis pour leur diversité sur quatre critères : (1) caractéristiques du

[9] « Concern » est utilisé en anglais, pour représenter le fait que les acteurs soient concernés par la question (dans mon cas la gestion du phoma du colza)

[10] ARDI : Acteurs, Ressources, Dynamiques et Interactions ; méthode souvent utilisée en Modélisation d'Accompagnement

parcellaire (taille des parcelles), (2) systèmes de culture et techniques culturales appliquées au colza et influençant la gestion du phoma du colza, (3) historiques par rapport à l'occurrence de la maladie dans le passé et (4) organisation des parties prenantes ayant une influence sur les pratiques et leur organisation locale. L'évaluation de ces scénarios de systèmes de culture spatialisés a été réalisée (après simulation avec SIPPOM-WOSR) par analyse de variance et méta-modélisation[11]. Trois critères ont été analysés : (1) taille de la population pathogène, (2) structure de la population pathogène (i.e. composition génétique) et (3) pertes de rendement dues à la maladie. Cette analyse a été réalisée à deux échelles spatiales : pour l'ensemble du territoire considéré (16 km^2) et pour des buffers de 100 m à 2 km autour des champs de colza. L'échelle de l'exploitation est absente de cette étude. Les parties prenantes participant aux ateliers étaient à la fois locaux et régionaux : quelques (peu) agriculteurs, représentants de coopératives, de Terres Inovia, de Chambres d'Agriculture, sélectionneurs, et plusieurs chercheurs spécialistes de la maladie ou du colza (Figure 3).

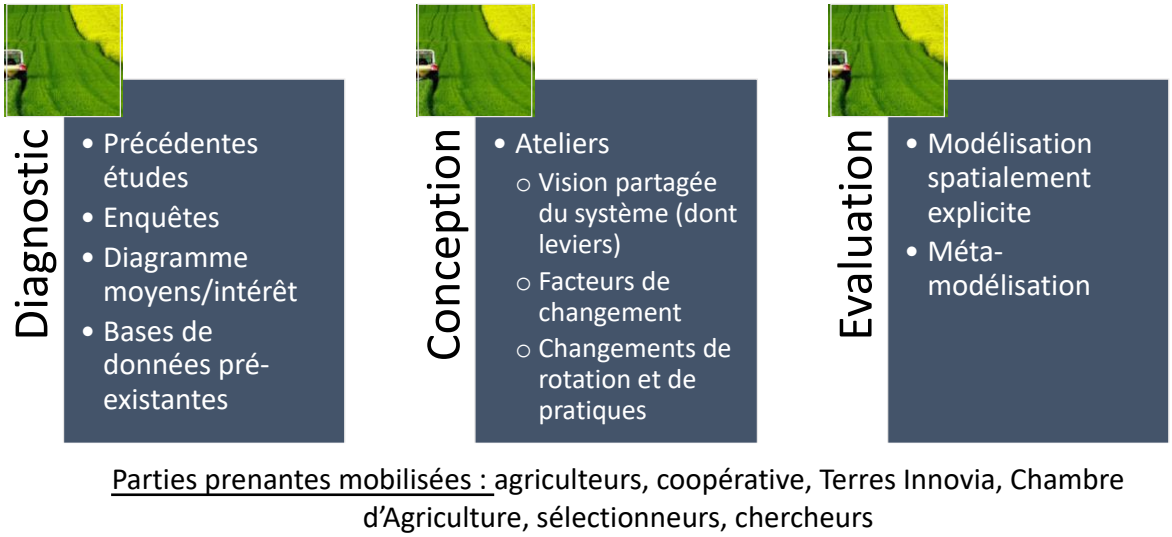


Figure 3. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes céréaliers. Photo libre de droits.

2.3.1.3 Résultats : des tendances très contrastées, présentant un gradient de diversification et de performances

Scénarios, systèmes et de cultures co-construits, et performances associées

Deux types de scénarios ont été construits : les premiers sur la base d'une évolution de facteurs de changement (règlementaire, économique, climatique, agronomique et épidémiologique ; Tableau 5) (ACL24, ACL25, ACL28) ; les seconds sur la base de règles de distanciation entre

[11] La méta-modélisation consiste à transformer un modèle mécaniste complexe en un modèle plus simple pour la prédiction (Colbach, 2010).

parcelles sources (colza infecté en n-1), et parcelles cibles (colza cultivé en année n) (ACL11 ; Encadré 1).

Tableau 5. Futurs imaginés et leviers mobilisés dans différents futurs construits par les collectifs de parties prenantes lors de l'étape de construction de scénarios.

Légende : les tendances et leviers mobilisés en région Centre uniquement sont indiqués en vert, ceux propres à la Picardie en rouge, en bleu sont indiqués les tendances et leviers mobilisés dans les deux terrains d'étude.

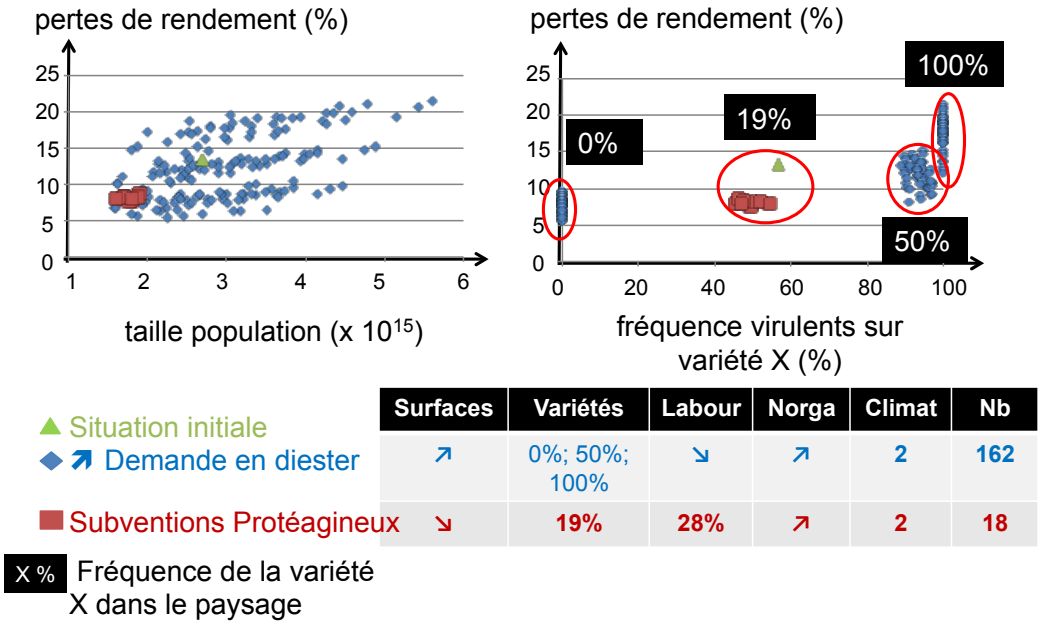
Futur / **Levier**	↗ demande diester	Subvention protéagineux	Interdiction glyphosate	Simplification travail du sol	Contrainte Variétés, Azote
Surfaces colza	✔	✔	✔		
Variétés	✔	✔	✔		✔
Travail du sol	✔	✔	✔	✔	
Date semis	✔	✔			
Azote orga	✔	✔	✔		✔
Densité semis	✔	✔	✔		
Fongicide	✔	✔	✔		
Climat	✔	✔	✔	✔	✔

Encadré 1. Efficacité de la distance d'isolement du champ, de la pratique du travail du sol, du type de cultivar et de la rotation des cultures dans la lutte contre le phoma sur le colza oléagineux (ACL11)

Sur le terrain Picardie, pour lutter contre le phoma du colza, les parties prenantes ont souhaité construire des mosaïques de cultures pour : (1) isoler les cibles des champs sources (tout le colza ou seulement le colza présentant une résistance spécifique RlmX), et (2) spécifier le travail du sol sur les chaumes de colza en fonction du type de cultivar (avec ou sans RlmX). Les simulations réalisées avec SIPPOM-WOSR ont mis en évidence l'efficacité plus forte de l'isolement du colza par rapport à l'isolement des variétés portant le gène de résistance RlmX. Nos analyses suggèrent que le travail du sol (labour) était le facteur le plus important pour expliquer l'évolution de la taille et de la structure génétique de la population de pathogènes et la perte de rendement. L'augmentation des distances d'isolement a conduit à des réductions de la population de pathogènes et de la perte de rendement uniquement dans la stratégie d'isolement du colza. Ces changements (labour, isolement) sont cependant à mettre en regard des possibilités de changement à l'échelle des exploitations. Cette étude pourrait conduire à la conception d'un système d'aide à la décision ciblant les champs de colza à haut risque (malades) à labourer ou à isoler de la culture de l'année suivante.

Les hypothèses sur les futurs possibles suggérées par les collectifs de parties prenantes étaient partiellement similaires entre les deux régions, en particulier concernant un futur où la demande en diester augmenterait (avec donc une augmentation des surfaces en colza et une modification

des rotations), un futur où l'Europe/l'État subventionnerait des cultures protéagineuses (impliquant un allongement des rotations et une diminution des surfaces en colza), et un futur où une réglementation interdirait l'utilisation du glyphosate pour gérer les repousses de colza (conduisant ainsi à une augmentation du labour post colza). Deux autres futurs ont été imaginés en région Picardie : l'un concerne le prolongement de la tendance actuelle en termes de gestion des résidus, avec une augmentation des Techniques Culturales Simplifiées, l'autre concerne un changement règlementaire qui interdirait la fertilisation azotée sur colza à l'automne et/ou limiterait l'accès aux variétés. Pour les deux terrains, ces tendances ont été imaginées pour le climat actuel et pour un climat *a priori* favorable à la maladie (avec des hivers doux et pluvieux). Pour chacune de ces tendances, les deux collectifs ont identifié et quantifié les leviers de gestion du phoma (i.e. éléments de l'itinéraire technique du colza et occurrence du colza dans les rotations) qui pourraient être affectés par ces futurs. Par exemple, si la demande en diester augmentait, les surfaces de colza augmenteraient, ce qui changerait l'organisation du travail au sein de l'exploitation. Un pic de travail apparaîtrait alors au moment de la récolte du colza, impliquant un travail du sol moindre pour la gestion des résidus (moins de labour).



	Surfaces	Variétés	Labour	Norga	Climat	Nb
Demande en diester	↗	0%; 50%; 100%	↘	↗	2	162
Subventions Protéagineux	↘	19%	28%	↗	2	18

Figure 4. Exemples de simulations des tendances Augmentation de la demande en diester et Augmentations des subventions pour les protéagineux, région Centre.
Les principaux leviers modifiés dans ces futurs sont indiqués dans le Tableau 4 (Surfaces en colza, fréquence du type variétal X, surfaces labourées, avec fertilisation azotée organique automnale, climat, et nombre de scénarios).

A l'issue des simulations de ces différents scénarios, qui présentaient une large diversité pour les trois variables évaluées, l'influence de la modification d'un levier particulier dans un futur a été analysée et présentée aux parties prenantes, de manière à hiérarchiser l'effet de chaque levier sur la gestion du phoma et la durabilité des résistances. A l'échelle du paysage, la variable

de sortie « Taille de la population pathogène » avait pour principal déterminant la surface en colza, lorsque celle-ci était modifiée dans le futur étudié, suivie par l'intensité des travaux du sol. Pour la variable « Pertes de rendement », les principaux déterminants étaient plus variables (ex. variétés de colza cultivées, climat). A l'échelle du paysage, nous avons montré que le choix variétal (i.e. fréquence du type variétal RlmX dans le paysage) était le principal déterminant de la composition génétique des populations pathogènes (Figure 4). Cependant, une variabilité existait pour une même composition variétale du paysage. Pour cette variable, des régressions ont donc été réalisées en considérant les pratiques et variétés à une échelle plus locale. A cette échelle, la localisation spatiale des types de variétés dans les 500 mètres autour des parcelles cibles était le principal déterminant de la structure génétique de la population pathogène.

Retours des parties prenantes

Les parties prenantes participantes ont exprimé que les évaluations des scénarios mettaient en évidence des caractéristiques pertinentes pour eux, par exemple **les informations sur le classement des pratiques culturales pour la gestion du phoma, qui pourrait les aider à adapter leurs conseils techniques.** Ils ont reconnu que les échelles temporelles et spatiales du modèle étaient précieuses pour voir les conséquences des choix individuels sur la gestion de la maladie. En effet, bien que l'échelle du champ soit leur principale échelle de travail, les épidémies de phoma passées leur ont montré la nécessité de considérer les processus interannuels et inter-parcellaires, pour lesquels l'approche de modélisation est très instructive. En outre, les discussions ont mis en lumière certains éléments que les parties prenantes considéraient comme manquants dans le modèle (cultures intercalaires, mélanges de cultures). Lors des évaluations, les parties prenantes ont discuté des **forces motrices** nécessaires aux changements de pratiques culturales et des impacts de ces changements. Par exemple, l'augmentation de la fréquence du colza dans la rotation impliquerait une réduction du travail profond du sol (davantage de semis direct) en raison de la diminution du temps de travail disponible. Ainsi, un participant a insisté sur "l'attrait de l'augmentation de la durée de la rotation des cultures" en ce qui concerne la gestion du phoma, mais l'a relativisé par rapport aux contextes économiques et agronomiques : "Une telle option se heurterait à des problèmes de rentabilité et de réalisation, car les agriculteurs devraient par exemple cultiver du tournesol, qui est moins rentable (prix en baisse et concurrence avec le blé d'hiver) et difficile à cultiver en raison de sa sensibilité aux dommages causés par les oiseaux et de ses besoins en eau". Les participants à l'étude manquaient **d'informations économiques** pour juger des scénarios, pour pouvoir mettre en perspective les pertes de rendement dues au phoma du colza et la rentabilité à l'échelle de la rotation et de l'exploitation agricole.

Enfin, les participants ont suggéré **d'élargir l'objet d'étude**, en couplant SIPPOM-WOSR avec des modèles simulant d'autres maladies, insectes et mauvaises herbes. Ils ont souligné que la lutte contre une maladie, dans ce cas le phoma du colza, pourrait affecter la lutte contre d'autres ravageurs, par exemple la lutte contre les mauvaises herbes. Ils ont conclu que le fait de se concentrer sur un problème peut avoir des effets indésirables sur un autre, d'où la nécessité d'élargir la portée du sujet.

2.3.1.4 Conclusion et bilan partiels

Au cours de ma thèse, j'ai ainsi proposé et testé, sur deux terrains, une méthode de construction de scénarios d'organisation spatiale de systèmes de culture, à l'échelle d'une petite région, combinant démarche participative et modélisation quantitative et mécaniste. Les objectifs de mon travail se situaient à l'interface entre une visée méthodologique (méthode de construction de scénarios quantitatifs sous hypothèses narratives) et une visée opérationnelle (scénarios efficaces vis-à-vis de la gestion du phoma du colza et de la durabilité des résistances, en fonction des caractéristiques agricoles et paysagères locales). La méthode proposée pour construire des scénarios, avec des parties prenantes, sur une question de chercheurs impliquant le recours à un modèle préexistant, m'a permis de répondre à l'objectif de construction de scénarios quantitatifs, sous hypothèses narratives**. Mon approche de modélisation participative a permis de construire et d'évaluer (1) des scénarios pour réfléchir à des futurs pour le colza dans deux zones céréalières, et les conséquences en termes de gestion du phoma du colza, et (2) des stratégies de gestion du phoma via des règles d'isolement des champs sources et cibles des agents pathogènes.** Si les parties prenantes ont reconnu la pertinence de l'approche, le fait d'utiliser un modèle complexe préexistant a généré une forme d'analyse de sensibilité du modèle par les parties prenantes, celui-ci restant dans une certaine mesure une « boîte noire », malgré l'exercice de construction d'une vision partagée du fonctionnement de la maladie. Malgré cela, cette étude a concouru à la réflexion des parties prenantes participantes, ceux-ci ayant souligné l'intérêt du partage lors des ateliers, et des résultats en termes de hiérarchie et d'interactions entre pratiques pour la gestion du phoma.

Suite à ces travaux, les principales limites que j'ai identifiées, et auxquelles j'ai cherché à répondre par la suite, portaient sur le besoin (1) de prendre en compte l'échelle de l'exploitation agricole, (2) d'inclure les agriculteurs dans le processus de conception, ceux-ci étant les concepteurs et les décideurs de leurs pratiques, (3) de favoriser la transparence du modèle pour les parties prenantes participant au processus de conception, (4) d'inclure des éléments économiques dans l'évaluation.

2.3.2 Les systèmes rizicoles en Camargue face au changement climatique

La Camargue est un terrain historique de l'équipe des agronomes INRAE de l'UMR Innovation. A mon arrivée à l'UMR Innovation, deux projets, portés par JM Barbier, étaient en cours sur ce terrain : CLIMATAC[12] (partenariat avec CIRAD UR Sens, Université de Wageningen) et SCENARICE[13] (partenariat avec IREA-CNR, Université de Milan). J'ai, pour compléter ces travaux, participé ou mené des projets FranceAgriMer, et participé au projet Sentinel-Riz avec des collègues télédétecteurs (UMR Tetis, Emmah). Ces travaux ont donné lieu à huit publications scientifiques (ACL5, ACL8, ACL12, ACL13, ACL14, ACL16, ACL18, ACL19).

2.3.2.1 Problématique : La Camargue, territoire à enjeux multiples

La Camargue, zone du Sud de la France de 167 000 ha (70 000 ha cultivés), est dominée par les systèmes rizicoles et les systèmes prairiaux dédiés à l'élevage. Le riz est une culture pivot des systèmes agricoles : son irrigation empêche l'accumulation de sel à la surface du sol, permettant ainsi la mise en place d'autres cultures (blé dur, luzerne, cultures de printemps) selon leur localisation. Certaines terres sont en effet à peine au-dessus du niveau de la mer, avec des phénomènes de salinisation plus forts, et des risques d'inondations hivernales. Le rendement du blé est aussi menacé par le déficit hydrique printanier, et les fortes températures en mai et juin, pendant la formation du grain. Du fait de la vulnérabilité actuelle des systèmes rizicoles aux variations du climat, et de la perception de certains riziculteurs d'effets déjà visibles du changement climatique[14], les parties prenantes locales s'interrogent sur les impacts futurs du changement climatique, et sur les adaptations possibles. Par exemple, quels effets sur les rendements ? Sur les possibilités d'irrigation, le Rhône étant alimenté par la fonte des neiges des zones alpines qui pourrait diminuer (Schädler and Weingartner, 2010) ? Sur les rotations ? Les enjeux climatiques ne sont bien sûr pas les seuls enjeux auxquels l'agriculture camarguaise doit faire face. Ceux-ci sont nombreux :

- du point de vue des agriculteurs et autres parties prenantes du secteur agricole : (1) la gestion des adventices, en lien avec l'interdiction de certaines molécules ; (2) l'arrêt des aides directes de la PAC pour le riz qui a fragilisé économiquement les producteurs ; (3) la difficulté de mettre en œuvre et/ou de valoriser des cultures de diversification (ex. cultures de soja, luzerne) ;

[12] CLIMATAC : Accompagnement des acteurs de Territoires agricoles pour l'Atténuation du Changement Climatique

[13] SCENARICE: Scenario Integrated Assessment for Sustainable Rice production systems

[14] Selon des enquêtes auprès de riziculteurs sur leur perception de la variabilité et du changement climatiques, menées par Roy Hammond dans le cadre du projet FranceAgriMer 2015 (non publié).

- du point de vue des parties prenantes « environnementales »[15] (dont PNR) : (1) l'enjeu principal porte sur l'évacuation de l'eau des rizières dans le système naturel, en termes de qualité (fertilisants et pesticides), de quantité (excès) et de période (inverse aux cycles naturels, i.e. il devrait y avoir peu d'écoulement en été, hors le vidage des rizières irriguées engendre de forts transferts d'eau à cette période) ; (2) un autre enjeu majeur porte sur la biodiversité, menacée par les systèmes agricoles intensifs.

Dans les travaux présentés ici, la question appliquée était : quelles solutions de conception sont imaginées par les parties prenantes, accompagnées par les chercheurs, pour faire face au changement climatique ? Quelles sont les performances de ces futurs systèmes possibles ?

L'originalité méthodologique portait sur la combinaison de scénarios narratifs et d'un outil de modélisation bioéconomique multi-échelles (exploitations agricoles, territoire).

2.3.2.2 Démarche : combiner scénarisation et modélisation bioéconomique

Dans cette étude, nous avons construit et mis en œuvre une méthode originale pour (1) développer des scénarios narratifs liés à l'évolution possible des systèmes agricoles en combinant les facteurs de changement liés aux changements globaux et les contraintes et opportunités locales, et (2) réaliser une évaluation intégrée de ces scénarios à l'aide d'un modèle bioéconomique, évaluation discutée ensuite avec les parties prenantes locales. Cette méthode visait à stimuler une réflexion avec les parties prenantes locales sur les états futurs possibles des systèmes agricoles, et à évaluer les conséquences de ces états. Nous avons mis en œuvre cette méthode avec un petit groupe de parties prenantes locales : deux représentants d'institutions publiques locales (le PNR de Camargue, et un représentant du PETR[16] local), deux représentants de syndicats d'agriculteurs locaux (syndicat des riziculteurs et association des éleveurs, tous deux également agriculteurs), et un chercheur spécialiste des systèmes rizicoles en Camargue.

L'étape du diagnostic (parties prenantes, systèmes, enjeux) a été menée en grande partie grâce à des travaux précédents (Figure 5) menés par Sylvestre Delmotte lors de sa thèse (Delmotte, 2011, et articles associés) et les travaux de stage et CDD de Vincent Couderc. La caractérisation des pratiques a été complétée par des travaux menés en parallèle avec les partenaires des projets Scenarice et Sentinel-Riz, en particulier à partir de la télédétection, sur quatre aspects :

[15] Cette présentation est caricaturale : les parties prenantes à vocation environnementale sont sensibles aux questions agricoles, par exemple les inondations hivernales des rizières créent un habitat de nourriture nocturne pour les oiseaux (Pernollet et al., 2015, 2017). A l'inverse, les riziculteurs sont sensibles aux aspects environnementaux.

[16] Pôle d'Équilibre Territorial et Rural.

assolements, pratiques, typologie des fermes intégrant assolements et pratiques (Encadré 2), et rendement du riz avec le modèle de culture STICS (Encadré 3).

Encadré 2. Méthodes et apports des travaux de télédétection pour l'étape de diagnostic

Ces travaux ont été menés avec des collègues des UMR TETIS et Emmah, et du CNR-IREA (Italie). Les objectifs principaux de ces travaux étaient de contribuer à la description de la situation actuelle des systèmes agricoles Camarguais (ACL5, ACL8, ACL12, ACL13, ACL16). Pour répondre à ces objectifs, la méthode a été l'analyse de séries temporelles d'images satellites (MODIS, Sentinel) avec des méthodes de machine learning (ex. réseaux de Neurones), ou des règles de seuils basées sur des connaissances agronomiques (ex. périodes de semis). Les indices spectraux différaient selon l'objectif recherché : détecter les cultures (assolement), détecter une pratique (ex. semis du blé). Ces informations peuvent (1) améliorer la description des systèmes, (2) aider à construire une typologie des exploitations, ou (3) être combinées avec un modèle de culture (ici STICS) pour simuler les rendements du riz des systèmes actuels.

Encadré 3. Évaluation des rendements du riz sous différentes hypothèses de changement climatique

Dans le cadre du projet Scenarice, j'ai mené des travaux avec Simone Bregaglio, de l'Université de Milan, sur l'impact et les adaptations au changement climatique pour le riz (ACL14). Pour ces travaux, nous avons simulé les rendements futurs du riz sur deux sites (Camargue et Lomellina en Italie), en considérant deux horizons temporels, deux scénarios d'émissions de GES, quatre modèles de circulation générale (GCM), et deux modèles de culture : STICS (Brisson et al., 1998) et Warm (Confalonieri et al., 2009). Nous avons considéré trois adaptations possibles : anticiper la date de semis, adopter des variétés à cycle plus long, et combiner ces deux options. La simulation des adaptations montre que changer la date de semis a peu d'effet, alors que l'adoption de variétés à cycle plus long (cohérentes avec des variétés déjà existantes ; Confalonieri et al., 2009), permettrait une augmentation des rendements. Ces résultats sont à nuancer, notamment du fait du fort impact du choix du GCM sur les rendements simulés. Malgré ces incertitudes, nos résultats indiquent que le maintien des rendements est possible si des variétés à cycle plus long sont cultivées. A la suite de ces résultats, nous avons construit un outil[17] statistique pour investiguer les causes des différences de comportement des modèles de culture (ACL19).

L'étape de la conception des nouveaux systèmes agricoles a été menée, avec les parties prenantes locales, en trois étapes (ateliers) successives : (1) identification et hiérarchisation des facteurs de changement, (2) construction de quatre scénarios narratifs, à un horizon de 15 ans,

[17] Codé sous RShiny (Chang et al., 2016) ; disponible ici https://shin-r.innovation.inra.fr/MOBEDIS/.

sur la base des deux facteurs de changement principaux – méthode des quadrants (van 't Klooster et van Asselt, 2006), (3) identification des conséquences de ces changements, et construction de stratégies d'adaptation, i.e. cultures et modes de conduite. La dernière étape, l'évaluation, a été menée à l'aide d'un modèle bioéconomique (ACL18), co-construit précédemment avec les parties prenantes (Delmotte et al., 2016) (Figure 5). Le modèle bioéconomique (BEM), basé sur une typologie des exploitations agricoles, permet de quantifier certaines performances socio-économiques et environnementales de nouveaux systèmes agricoles, aux échelles des types de ferme, et du territoire. **Cette démarche m'a permis de répondre à plusieurs difficultés et biais identifiés préalablement : considérer explicitement l'échelle de l'exploitation, caractériser les performances économiques, inclure des agriculteurs dans la démarche, et favoriser la transparence de l'outil** (celui-ci ayant été co-construit précédemment avec une partie des parties prenantes impliquées ici).

Parties prenantes mobilisées : agriculteurs, PETR, PNR, syndicats de producteurs

Figure 5. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes agricoles adaptés au changement climatique en Camargue. Photo S. Delmotte.

2.3.2.3 Résultats : des scénarios très contrastés, présentant un gradient de diversification et de performances

Facteurs de changement

Nous avons sélectionné les principaux facteurs de changement des systèmes agricoles en Camargue lors du premier atelier. 13 facteurs de changement ont été identifiés (Tableau 6), de types technique, social, économique et environnemental. Ces facteurs ont été définis à différents niveaux spatiaux, du niveau local (ex. nouvelles chaînes de distribution) au niveau mondial (ex. changement climatique). Les participants ont été incités à réfléchir (1) aux impacts potentiels du facteur sur les systèmes agricoles, et (2) au niveau d'incertitude associé à son évolution. Sur cette base, deux facteurs principaux ont été sélectionnés : le changement climatique (impact faible ou fort, traduit surtout en termes de disponibilité en eau), et les conditions économiques et règlementaires pour le riz (défavorables ou favorables).

Tableau 6. Principaux facteurs de changement pour l'élaboration des scénarios (ACL18).

Domaine	Facteur de changement	Echelle	Influence	Incertitude
Agronomique	Innovations techniques	Local	+++	+
Environnemental	Changement climatique	Global	+++	+++
	Pression des ONG	Reg., Nat.	++	+
	Règlementations	Nat., EU	++	+
Economique	Subventions	Nat., EU	+++	+++
	Prix des produits	EU, global	+++	+++
	Prix des intrants et de l'énergie	Globale	++	+++
	Nouvelles filières	Local, Nat.	++	++
Social	Diversification des activités	Local	++	+
	Changements de régimes alimentaires	Nat., global	++	+++
	Foncier	Local	++	+++
	Traçabilité des produits	Local, Nat.	++	+

Scénarios narratifs, systèmes d'exploitation et de cultures construits, et performances associées

Notre utilisation de la méthode des quadrants, qui favorise la cohérence des scénarios et leur contraste, a permis la construction de quatre scénarios par les parties prenantes. Ils se basent les deux facteurs de changement principaux, mais ne s'y limitent pas. J'illustre ici les résultats pour les deux scénarios considérant un changement climatique « fort ».

Encadré 4. Narratif simplifié du scénario C « Vers une spécialisation des exploitations »

Ce scénario considère des conditions économiques et règlementaires défavorables au riz, et un changement climatique fort. Dans ce scénario, en 2030, le prix du riz est maintenu bas sur le marché international, et la demande européenne forte pour des aliments biologiques entraîne des prix élevés pour les productions biologiques. Le système de subventions a été modifié (plus d'aide pour le bio, paiements uniques par exploitation uniquement). La demande en bio amène l'introduction de nouvelles espèces dans la rotation (blé tendre, maïs, légumineuses). Le changement climatique devient un facteur de plus en plus important : le sel atteint plus rapidement la surface du sol dans les terres basses, ce qui aboutit à leur mise en jachère et à une diminution des terres cultivables (Figure 6). De nouvelles règlementations pour réduire les émissions de GES sont mises en œuvre, incitant à réduire les engrais minéraux. Le coût de l'eau augmente pour favoriser sa meilleure gestion. En réaction à ces changements, les petites exploitations se convertissent au bio, et les grandes exploitations restent conventionnelles, modifiant légèrement leurs pratiques pour réduire leur impact environnemental.

Selon les simulations que nous avons réalisées, le riz resterait, dans le scénario C, la culture principale, cultivée en alternance avec le blé dur et le soja ou le maïs dans les systèmes conventionnels (Figure 6). Les surfaces en riz diminueraient cependant, du fait de l'augmentation du bio (Encadré 4) (le délai entre deux riz étant plus long dans les systèmes bio (pression accrue des adventices)). La consommation d'eau serait fortement réduite du fait de la diminution de la culture du riz, seule culture irriguée en Camargue, ce qui permettrait également

d'importantes économies en termes de consommation énergétique (pompage de l'eau). La diversification de la rotation des cultures (dont légumineuses) permettrait la réduction des engrais synthétiques et donc de GES (Figure 7). Au niveau de l'exploitation, la marge brute moyenne présenterait une légère baisse, du fait de la forte baisse des subventions. Au niveau régional, l'emploi généré par l'agriculture diminuerait (moins de riz, qui est la culture la plus intensive en travail). Les indicateurs liés à la production alimentaire baisseraient (rendements plus faibles en bio).

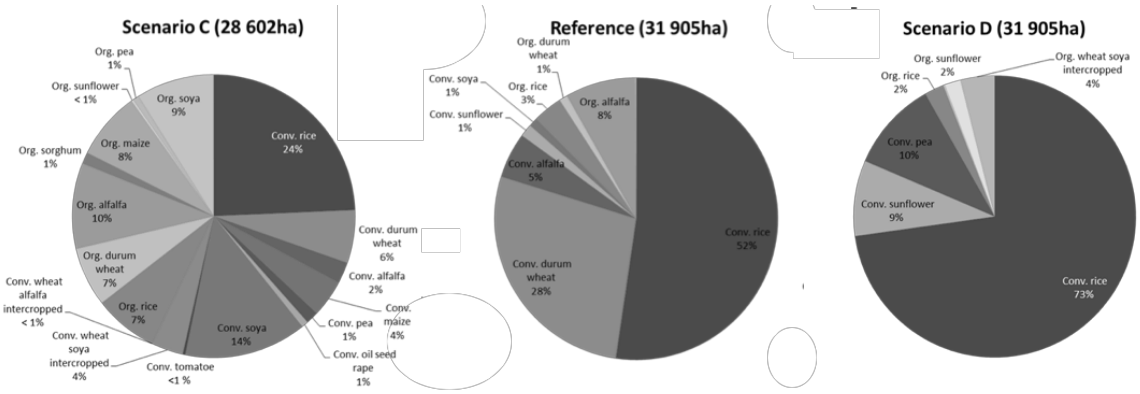


Figure 6. Utilisation des terres au niveau régional pour la situation de référence et pour les deux scénarios considérant un changement climatique fort, avec la superficie cultivée, entre parenthèses (ACL18).

Encadré 5. Narratif simplifié du scénario D « La Camargue en zone à handicap spécifique »

Ce scénario considère des conditions économiques et règlementaires favorables au riz, et un changement climatique fort. Dans ce scénario, en 2030, les impacts du changement climatique affectent le niveau et les débits du Rhône (diminution de la neige en montagne), dont la salinité augmente (intrusions marines). La Camargue subit plus fréquemment des événements climatiques extrêmes : fortes pluies en automne et sécheresses au printemps. De nouvelles règles sont structurées pour limiter le volume d'eau utilisé, et le coût de l'eau augmente. En raison de ces problèmes, le gouvernement accorde une subvention locale en plus du paiement unique par exploitation. La production de riz est soutenue par des prix élevés (forte demande mondiale), par des rendements plus élevés du riz[18], et sa plus grande fréquence dans les rotations pour dessaler les sols. Au contraire, le blé dur est affecté négativement par les pluies excessives de l'automne et la sécheresse du printemps. Des stratégies d'atténuation sont mises en place pour réduire l'utilisation des engrais minéraux (de plus en plus coûteux), et des mesures agro-environnementales sont introduites pour encourager le semis du riz en conditions sèches, et introduire des légumineuses dans les rotations.

[18] Les résultats présentés dans l'Encadré 3 montrent que cette augmentation est conditionnée à la mise en place d'adaptation (ex. nouvelles variétés).

Selon nos simulations, la culture du riz, dans le scénario D, représenterait une grande superficie (75 % des terres arables), du fait de l'augmentation des subventions pour le riz et du rendement du riz (grâce au changement climatique) (Encadré 5). Les cultures en rotation avec le riz seraient le tournesol, le pois et le blé, avec du soja en dérobé (Figure 6). Au niveau de l'exploitation, la marge brute moyenne présente une forte baisse dans le scénario D (réduction des subventions et augmentation des coûts de production). Au niveau régional, la valeur de la production augmenterait du fait de la part importante en riz, entraînant également une augmentation de l'emploi généré par l'agriculture et de la production alimentaire potentielle (Figure 7), au détriment des impacts environnementaux (utilisation de pesticides, consommation d'énergie, émissions de GES).

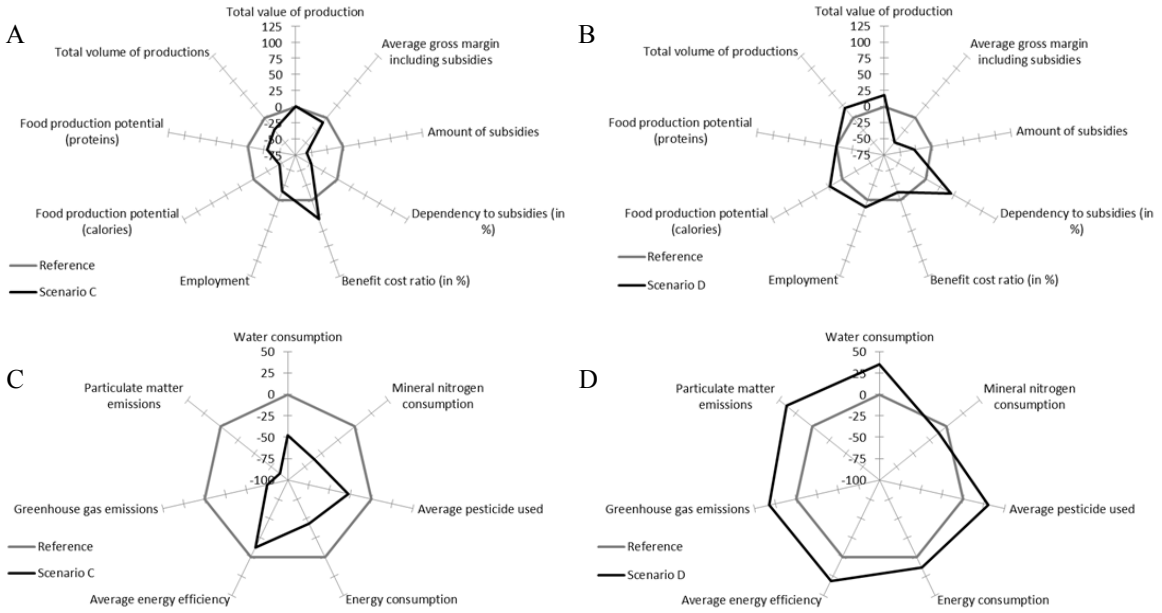


Figure 7. Performances socio-économiques (A, B) et environnementales (C, D) des deux scénarios (scénario C : A, C ; scénario D : B, D) au regard de la situation de référence (ACL18)

Retours des parties prenantes

Au cours du dernier atelier, les parties prenantes ont exprimé que les quatre scénarios narratifs leur semblaient suffisamment contrastés pour mettre en lumière **un éventail de stratégies possibles pour s'adapter à divers contextes futurs**. Les scénarios ont également été considérés comme des **représentations réalistes des évolutions possibles des systèmes agricoles de la Camargue**. Les parties prenantes ont insisté sur deux aspects positifs des méthodes utilisées dans cette étude. Le premier est lié à la **pertinence de la méthode d'élaboration des scénarios** elle-même. Les scénarios élaborés collectivement ont été considérés comme un moyen efficace de soutenir **la réflexion et le partage des perspectives** entre les parties prenantes, en considérant ce qui pourrait arriver, plutôt que ce qui va arriver,

reconnaissant ainsi la nature exploratoire des méthodes et des résultats. Le deuxième aspect concernait **l'utilisation des résultats quantitatifs** pour anticiper les futurs changements de contexte afin de mieux s'adapter. Une partie prenante a évoqué la possibilité d'utiliser ces résultats dans les négociations sur les subventions publiques au niveau national, notamment les résultats du scénario « La Camargue en zone à handicap spécifique » pour souligner la « nécessité absolue » de rétablir une subvention spécifique pour le riz. Les parties prenantes ont soulevé deux préoccupations en ce qui concerne les indicateurs utilisés dans l'évaluation des scénarios. Premièrement, les **indicateurs d'évaluation** des conséquences sur le bien-être économique du secteur agricole sont de simples approximations (valeur et volume de la production). Deuxièmement, bien que les indicateurs liés au potentiel de production alimentaire soulignent la contribution de l'agriculture régionale à la sécurité alimentaire, ils n'accordent pas suffisamment d'attention à **l'aspect qualitatif** des systèmes alimentaires.

2.3.2.4 Conclusion et bilan partiels

Dans cette étude, nous avons développé et mis en œuvre une **méthode de conception de systèmes agricoles face au changement climatique, à l'échelle d'exploitations types, en combinant des scénarios narratifs et la modélisation bioéconomique.** Ces scénarios ont permis aux parties prenantes de se projeter dans différents futurs, dans lesquels les systèmes de culture seraient très différents (avec l'état initial, et entre exploitations), y compris avec des filières historiques (riz) qui pourraient être mises en difficulté, justifiant pour l'une des parties prenantes une « négociation » avec les pouvoirs publics sur les modalités de la PAC.

Ce cas d'étude s'inscrivait dans une dynamique de recherche des agronomes de l'UMR Innovation, ce qui a permis que le modèle d'évaluation, relativement complexe, ne soit pas remis en cause par les parties prenantes. Cependant, l'inclusion de nouvelles parties prenantes dans la démarche, et le temps entre le co-développement du modèle et notre démarche de scénarisation, ont souligné le décalage entre les indicateurs d'évaluation inclus dans le modèle, et ceux permettant d'éclairer la prise de décision des parties prenantes. J'identifie deux autres biais : (1) le petit nombre de participants, qui a limité le partage des représentations et des connaissances ; (2) le rôle fort du modélisateur dans les choix de paramétrage du modèle. Bien que basées sur les travaux réalisés en ateliers, les spécifications numériques nécessaires ont été réalisées par le chercheur. Ceci a été fait de manière transparente vis-à-vis des parties prenantes, mais souligne cependant **la difficulté de la mobilisation de ce type de modèle dans des approches de conception participative**. Mes travaux suivants tenteront de pallier à ces limites, **en favorisant une participation plus large de parties prenantes, et en mobilisant des outils plus adaptés au contexte des parties prenantes** participant au processus de conception.

2.3.3 Les systèmes lavandicoles du Plateau de Valensole face au changement climatique

Le territoire de Valensole est un terrain d'étude plus récent pour les agronomes INRAE de l'UMR Innovation. A mon arrivée, ce terrain était mobilisé dans le projet CLIMATAC, qui finançait la thèse de Caroline Tardivo, à l'encadrement de laquelle j'ai participé. Caroline Tardivo n'ayant pu mener à bien la valorisation, j'ai repris ses travaux (ACL1) sous l'impulsion de ses encadrants, qui souhaitaient (1) voir ces travaux originaux valorisés ; (2) être en mesure de citer un article scientifique sur la méthode développée dans la thèse.

2.3.3.1 Problématique : Le Plateau de Valensole, entre sécheresses et maladies

Le plateau de Valensole, situé en Provence et s'étendant sur 50 000 hectares, est dominé par les systèmes lavandicoles[19]. La place centrale du lavandin, cultivé en rotation avec le blé dur, est liée à sa résistance à la sécheresse, et sa valeur ajoutée élevée (Lang et Ramseyer, 2011). Les rendements du blé dur sont considérés faibles par les parties prenantes, en lien notamment avec les sécheresses printanières. Les sécheresses automnales, de plus en plus fréquentes selon les parties prenantes, augmenteraient la mortalité des plants de lavandin (Tardivo, 2016). Si environ 3 000 ha (sur 25 000 ha) sont équipés pour l'irrigation, seuls 1 750 ha étaient effectivement irrigués en 2009 (estimation Société du Canal de Provence). Deux stratégies d'irrigation coexistent : l'irrigation pour les cultures majoritaires (lavandin, blé dur), ou l'irrigation pour les cultures de diversification (colza, pois). Si l'irrigation est vue par certaines parties prenantes locales comme le principal moyen de faire face aux sécheresses (actuelles et futures), sa faible utilisation sur les secteurs équipés et les forts coûts d'investissement nécessaires amènent les parties prenantes locales à réfléchir à d'autres stratégies d'adaptation.

Les enjeux climatiques ne sont pas les seuls à menacer les systèmes agricoles du Plateau de Valensole. D'autres enjeux dominants sont :

- Selon les agriculteurs et autres parties prenantes du secteur agricole : (1) **le dépérissement du lavandin**[20], qui entraîne la mort des plants ; (2) la fertilisation du blé, ne permettant pas toujours de satisfaire les besoins de la filière ; (3) la difficulté de mettre en œuvre des cultures de diversification (adaptées au climat et aux sols pauvres), et de les valoriser (pas de filière locale) ;

[19] Le plateau de Valensole est le principal bassin de production de lavandin (plante à parfum semi-pérenne).

[20] Le dépérissement du lavandin est dû à une maladie bactérienne (stolbur) causé par un phytoplasme transmis par la piqûre des cicadelles (*Hyalestes obseletus*).

- Selon les parties prenantes « environnementales » (dont les acteurs du PNR) : (1) la menace sur la biodiversité selon les systèmes de culture et l'intensivité des modes de production ; (2) la qualité de l'eau des nappes, polluées par des nitrates et des pesticides[21].

Dans ces travaux, la question appliquée était : quelles solutions de conception sont imaginées par les parties prenantes, accompagnées par les chercheurs, pour faire face au changement climatique ? Quelles sont les performances de ces futurs systèmes possibles ? L'enjeu méthodologique portait sur l'intégration des méthodes d'évaluation intégrée multi-échelle dans une démarche de modélisation d'accompagnement.

2.3.3.2 Démarche : combiner évaluation intégrée et modélisation d'accompagnement

Dans cette étude, nous avons défini et mis en œuvre une méthode pour (1) formuler une question partagée, (2) co-concevoir un modèle conceptuel du système, (3) co-concevoir et développer un modèle numérique ; (4) développer des scénarios narratifs liés à l'évolution des systèmes agricoles en combinant les facteurs de changement liés aux changements globaux et les contraintes et opportunités locales, à un horizon de 15 ans, et (5) réaliser une évaluation intégrée de ces scénarios, toutes ces étapes étant réalisées avec les parties prenantes locales. **Ce choix de co-construction de tous les objets de la démarche (dont les critères d'évaluation) visait à pallier le risque d'outil « hors sol », non adapté au territoire et aux préoccupations de ses parties prenantes, et limitant de fait leur rôle et leur intérêt dans la démarche.**

Cette méthode visait à soutenir une réflexion collective des parties prenantes sur la durabilité de leur système agricole, en imaginant les futurs possibles avec les parties prenantes, mais également en favorisant leur participation dans les étapes de modélisation et de représentation de la situation actuelle. Pour cela, nous avons mis en œuvre une démarche originale combinant l'Évaluation Intégrée des Systèmes Agricoles (van Ittersum et al., 2008), et la Modélisation d'Accompagnement Commod (Etienne, 2011).

D'une part, l'Évaluation Intégrée des Systèmes Agricoles (EISA) est une approche systémique visant à explorer les changements dans le système (ex. changements techniques ou organisationnels, politiques agro-environnementales, prix) et à évaluer, *ex ante*, leurs effets sur divers indicateurs (ex. production, lessivage des nitrates) à différentes échelles spatiales (van (van Ittersum et al., 2008). D'autre part, la modélisation d'accompagnement (MA) est utilisée pour aider des groupes de parties prenantes ayant des pratiques, des stratégies et des points de vue différents, à gérer collectivement les terres et les ressources associées (Etienne, 2011). Cette approche est considérée comme une modélisation « transformative » (van Bruggen et al., 2019).

[21] Ces pollutions ont entraîné la fermeture de captages, notamment du fait des herbicides sur le lavandin.

Ces deux approches impliquent une combinaison de modélisation et de participation des parties prenantes pour explorer différents futurs possibles, mais de manières différentes. Tout d'abord, l'EISA implique des modèles mécanistes qui sont généralement préexistants ; le partage de leur développement avec les parties prenantes n'est pas clé dans le processus, ce qui peut entraîner un manque de transparence pour les parties prenantes. En revanche, la Modélisation d'Accompagnement place la conception participative du modèle au cœur de celui-ci (« modèle ascendant » ; Barnaud et al., 2008), ce qui lui permet de révéler et de formaliser les perspectives des parties prenantes (Le Page et al., 2015). Deuxièmement, dans la plupart des cas, l'EISA ne mobilise les connaissances des parties prenantes que pour concevoir des alternatives, alors que la MA considère le processus de modélisation comme un moyen de favoriser l'apprentissage social. Troisièmement, la MA est souvent axée sur les questions environnementales (ressources à partager/préserver), avec un ensemble restreint d'indicateurs utilisé pour l'évaluation, sauf dans quelques exceptions (ex. Barnaud et al., 2008). L'EISA est structurée autour d'une approche systémique qui englobe des indicateurs agro-nutritionnels, environnementaux et économiques à différentes échelles (ex. ACL18). Enfin, alors que l'EISA, plus axée sur les données, vise à comparer quantitativement les performances de différents systèmes afin de guider les décisions politiques (ex. Therond et al., 2009), la MA est orientée vers les négociations entre parties prenantes et l'apprentissage collectif transformateur (ex. Le Page et al., 2015). Ainsi, la modélisation d'accompagnement et l'évaluation intégrée des systèmes agricoles peuvent être complémentaires : (1) La MA peut ajouter la participation qui manque à l'EISA en mettant l'accent sur l'inclusion et le rôle des parties prenantes, et sur la transparence du modèle ; (2) l'EISA permet une approche systémique, avec une évaluation plus complète et quantitative que celle généralement mise en œuvre dans la MA.

Nous avons mis en œuvre cette double approche en impliquant une diversité de parties prenantes (spécialisées dans les espèces aromatiques, céréales, l'élevage, l'apiculture, le développement territorial) lors d'enquêtes individuelles, et dans sept ateliers (impliquant 3 à 12 participants). Les participants aux ateliers représentaient différents types de connaissances (économiques – ex. les coopératives, environnementales – ex. PNR, agronomiques – ex. agriculteurs, Chambre d'Agriculture, Instituts Techniques). Ces ateliers ont été complétés pendant la démarche par deux séries d'enquêtes d'agriculteurs. **Nous avons choisi d'impliquer une large diversité de parties prenantes** pour limiter le biais observé précédemment, **et favoriser le partage de connaissances de parties prenantes d'horizons différents.**

Nous avons réalisé l'étape du diagnostic à partir d'études disponibles (diagnostic agraire de Lang and Ramseyer, 2011; diagnostic agronomique d'étudiants de Montpellier Supagro, 2013),

et d'une série d'enquêtes mises en œuvre par C. Tardivo, dont les résultats ont été formalisés sous forme de cartes cognitives (Figure 8). Deux études ont été menées en parallèle : un travail de télédétection pour cartographier les cultures (les déclarations PAC ne permettant pas de distinguer le lavandin des autres « cultures industrielles »), et un travail spécifique sur la dispersion de la cicadelle, vecteur du stolbur responsable du dépérissement du lavandin (pour permettre, le cas échéant, de réfléchir à la spatialisation des cultures dans l'étape de conception) (ACL20). Nous avons mené en parallèle les étapes de conception (co-construction d'une question, scénarisation) et de co-construction de l'outil d'évaluation, basé sur la co-construction d'un modèle conceptuel représentant le système agricole. Enfin, nous avons évalué les scénarios co-construits, dont les résultats ont mis en débat avec les parties prenantes locales (ACL1).

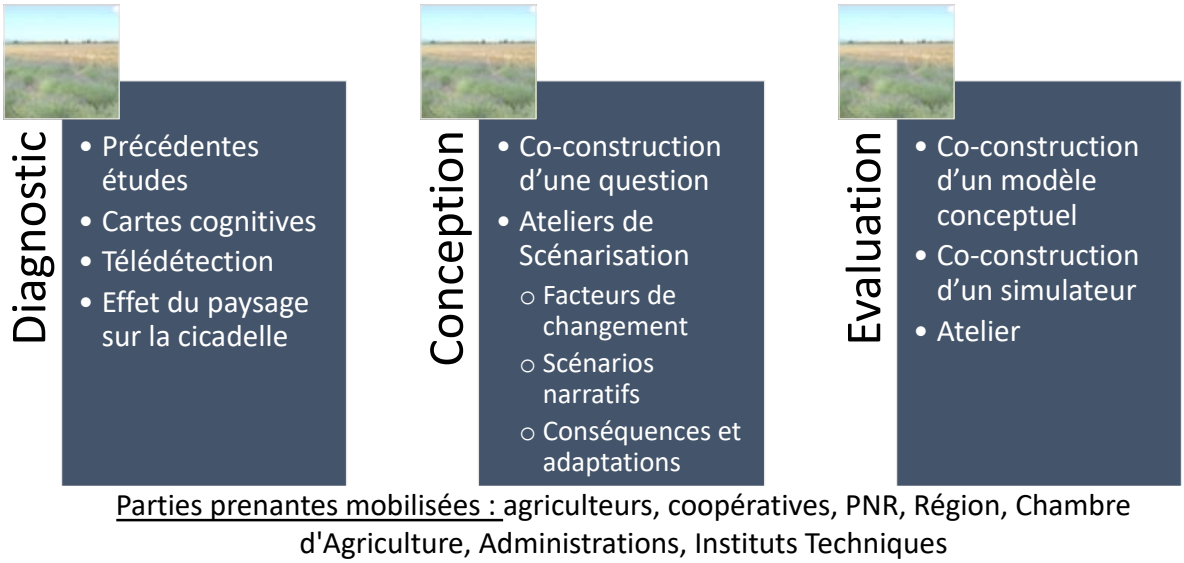


Figure 8. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes agricoles adaptés au changement climatique à Valensole. Photo C. Tardivo.

2.3.3.3 Résultats : des scénarios « du pire », pour des systèmes aux performances environnementales améliorées mais productives dégradées

Construction d'une question partagée

Dans les approches Commod, la formulation d'une question partagée, à traiter par l'approche et le modèle, est une étape clé. Nous avons réalisé cette étape en atelier avec les parties prenantes locales. En amont, nous avions identifié, dans les questions individuelles formulées par les parties prenantes lors des enquêtes du diagnostic, les enjeux (irrigation, rentabilité, impacts environnementaux, pratiques), leurs thèmes (ex. dépérissement du lavandin, PAC, aléas climatiques) et leurs échelles (exploitation, territoire). Sur cette base, les parties prenantes locales ont formulé la question suivante : « A quoi ressemblerait un avenir durable pour les exploitations agricoles du plateau de Valensole ? ». Elles ont souhaité ajouter une sous-question

« Comment les agriculteurs peuvent-ils améliorer les systèmes de production sur le plateau de Valensole ? ». Cette 2ème question oriente la 1ère vers les moyens d'améliorer les systèmes de production du plateau de Valensole. Le concept de durabilité a permis aux parties prenantes de formuler une question englobant la variété des sujets des questions individuelles.

Modèle conceptuel du système agricole du Plateau de Valensole

Nous avons choisi de construire le modèle conceptuel avec les parties prenantes lors du 2ème atelier, en nous appuyant sur les cartes cognitives du diagnostic pour recenser et organiser les différentes composantes du système citées par les parties prenantes enquêtées. Sur cette base, les participants ont choisi de restreindre, dans le modèle, la gamme des exploitations étudiées à celles cultivant le lavandin (la gamme était plus large dans les cartes mentales).

Modèle de simulation

Sur la base du modèle conceptuel, nous avons construit, en atelier, un modèle numérique avec les parties prenantes locales. Pour ce faire, plusieurs étapes ont été nécessaires pour construire avec les parties prenantes : (1) un zonage agroécologique, qui distingue 7 zones du plateau selon le niveau de dépérissement du lavandin, l'accès à l'irrigation, les types de sol ; (2) des types de ferme et leur allocation spatiale, selon leur taille, spécialisation en lavandin, accès à l'irrigation, et localisation ; (3) les activités[22] selon les types de ferme, définies par les chercheurs puis discutées en ateliers et enquêtes auprès d'agriculteurs ; (4) des climats « type », se focalisant sur les précipitations printanières (jugées comme la caractéristique climatique la plus critique par les parties prenantes) ; (5) les indicateurs à quantifier à l'échelle des types de ferme et du territoire, construits en ateliers (de types socio-économique et environnemental).

Facteurs de changement identifiés par les parties prenantes

Les facteurs les plus cités par les parties prenantes concernaient les changements globaux, par exemple l'augmentation de l'occurrence des événements météorologiques extrêmes, et en particulier des sécheresses, ou les changements sur les marchés (Tableau *7*). La hausse des prix de l'énergie, qui augmenterait les coûts de fertilisation du blé dur et de distillation du lavandin, est également apparue comme une préoccupation importante. Le durcissement des réglementations nationales et internationales sur les usages des pesticides et des engrais azotés a également été évoqué. Au niveau local, deux changements principaux ont été évoqués : l'extension de l'irrigation et la progression du dépérissement du lavandin. Deux facteurs techniques ont également été mentionnés : l'amélioration des techniques culturales simplifiées et de la gestion de la matière organique.

[22] la notion d'activité culturale (Hengsdijk et al., 1999) est utilisée pour décrire les différents itinéraires, selon plusieurs contraintes, ex. le précédent cultural.

Tableau 7. Principaux facteurs de changement à Valensole, avec leur fréquence de citation (ACL1).

Echelle	Facteur de changement	Citation
Globale	Evènements climatiques extrêmes plus fréquents	+++
	Variation du prix des produits et de la demande	+++
	Règlementations des fertilisants azotés	++
	Règlementations des pesticides	++
	Variation du prix de l'énergie	++
	Changement de PAC	++
	Règlementation REACH (distillation)	++
Locale	Extension du réseau d'irrigation	+++
	Extension du déperissement du lavantin	++
	Augmentation de l'érosion	+
	Organisation collective d'agriculteurs	
	Politiques publiques pour l'installation des jeunes agriculteurs	
	Création espaces réservés au tourisme	
Technique	Techniques culturales cimplifiées	+
	Gestion de la matière organique	

Scénarios co-construits, systèmes de culture construits, et performances associées

Sur la base de ces facteurs, les parties prenantes locales ont construit, lors d'un atelier, les éléments d'un scénario narratif (formalisé ensuite par les chercheurs) centré sur l'évolution de quatre facteurs principaux (Encadré 6). Les parties prenantes ont proposé certaines adaptations des systèmes agricoles, non suffisamment détaillées pour être simulées. Nous avons donc décidé d'enquêter cinq agriculteurs[23] pour concevoir ces adaptations (systèmes de culture et gestion technique de l'exploitation) qui, après formalisation par les chercheurs, ont été simulées dans le scénario « Adaptations des agriculteurs" » Suite à la présentation de la simulation de ce scénario en atelier, les parties prenantes ont suggéré d'autres adaptations, qui ont été simulées avec le modèle dans le 2ème scénario « Adaptations des acteurs régionaux ». Ces deux scénarios partagent les mêmes facteurs de changement (Encadré 6), mais diffèrent dans leurs adaptations.

Encadré 6. Narratif simplifié commun des deux scénarios construits à Valensole

A un horizon de 15 ans, le 1er facteur de changement concernerait une baisse des prix de l'huile essentielle de lavandin, et une hausse des coûts des intrants chimiques. Le classement en zone vulnérable nitrate interdirait de l'épandage d'engrais azotés à l'automne, ce qui induirait (selon les parties prenantes locales) la baisse des rendements du blé dur. Le changement climatique se traduirait par une fréquence plus élevée des sécheresses de printemps, réduisant les rendements de toutes les cultures, et des sécheresses d'automne, entraînant la mort prématurée des plants de lavandin. La réforme de la PAC entraînerait l'augmentation de la surface des cultures les plus rentables.

[23] Ces cinq agriculteurs ont estimé que ces changements étaient cohérents à l'horizon de 15 ans.

Scénario « Adaptations des agriculteurs : scénario des stratégies opposées ». Selon ces facteurs de changements (Encadré 6), les agriculteurs que nous avons interrogés adapteraient leurs cultures de manières différentes : (1) ceux déjà spécialisés en lavandin augmenteraient leur superficie en lavandin, estimant que cette culture resterait plus rentable que les autres ; (2) les agriculteurs non spécialisés diversifieraient leur système (colza, tournesol, pois), au détriment du lavandin. Les agriculteurs interrogés ont également mentionné des adaptations dans la gestion technique : utilisation de techniques culturales simplifiées pour réduire les coûts des intrants et du carburant, et utilisation d'engrais organiques pour faire face à la nouvelle réglementation. Du fait de la diversification, les surfaces en lavandin diminueraient dans ce scénario. A l'échelle régionale, nos simulations montrent que la marge brute diminuerait, du fait de la baisse du prix du lavandin et de l'augmentation des coûts des intrants. Ces systèmes amélioreraient les performances environnementales, avec une diminution de l'utilisation des pesticides, de la consommation d'énergie et des émissions de GES (Figure 9). Le potentiel nourricier diminuerait du fait de la diminution des surfaces de colza et de l'augmentation des surfaces de sauge. La contribution à l'emploi diminuerait, par rapport à la situation de référence, en lien direct avec la baisse des surfaces en lavandin (culture très intensive en travail).

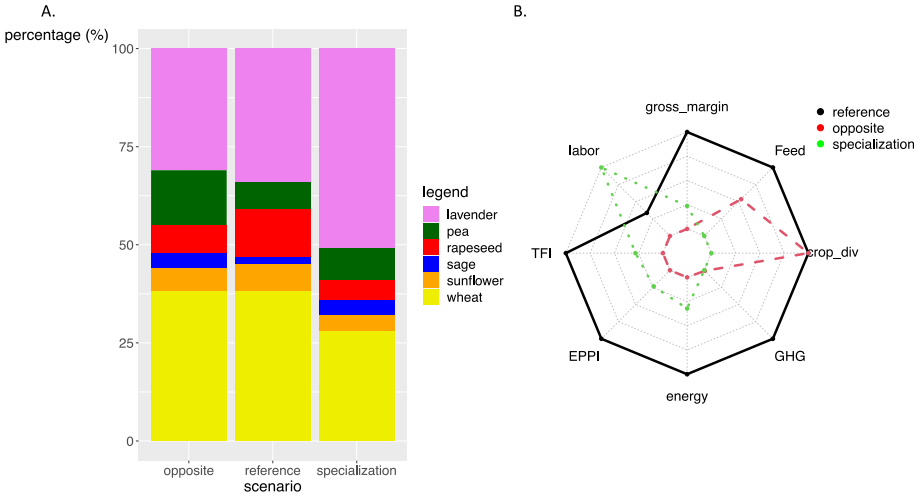


Figure 9. Résultats des simulations pour les scénarios de référence, « stratégies opposées » et « spécialisation », en termes (a) de cultures cultivées et (b) de performances, pour un hectare régional moyen.
Feed : potentiel nourricier ; Crop_div : diversité des cultures ; GHG : GES ; EPPI : indice de pression phytosanitaire environnementale ; TFI : IFT.

Scénario « Adaptations des acteurs régionaux : scénario de spécialisation ». Les participants au dernier atelier ont remis en question le choix de la diversification des exploitations non spécialisées. Ces participants régionaux ont suggéré qu'une adaptation plus logique aux changements de contexte serait que les exploitations non spécialisées augmentent également leurs surfaces en lavandin, la marge brute de cette culture, bien que réduite, restant importante. Ainsi, tous les agriculteurs augmenteraient leur surface en lavandin. A l'exception de la

contribution à l'emploi (qui augmenterait), tous les indicateurs suivent la même tendance que pour le scénario précédent, avec cependant une baisse moindre de la marge brute. La diminution du potentiel nourricier est due à l'augmentation des surfaces de lavandin et de sauge (Figure 9).

Retours des parties prenantes

Les parties prenantes ont considéré que le modèle conçu collectivement était **cohérent, bien que perfectible, pour simuler comment des changements de pratiques impacteraient les performances.** Ainsi, le modèle a rempli ses principaux objectifs : évaluer quantitativement des scénarios, et agir comme un « objet frontière » pour stimuler le partage et l'apprentissage collectif (Leigh Star, 2010). Nous n'avons pas formalisé les connaissances acquises, mais elles ont été soulignées par certaines parties prenantes, avec une différence entre les parties prenantes « sources » ayant une connaissance approfondie des systèmes agricoles locaux, et les parties prenantes « puits », qui ont profité du projet pour se renseigner sur le réseau local et le système.

2.3.3.4 Conclusion et bilan partiels

Dans cette étude, nous avons développé et mis en œuvre **une méthode intégrant l'évaluation intégrée dans un processus de modélisation d'accompagnement.** Ce processus a permis une évolution temporelle de la place des enjeux : par exemple, les parties prenantes ne se sont pas focalisées sur l'extension du réseau d'irrigation dans les scénarios, alors qu'elle était initialement au cœur des discussions. Ce changement a été permis par la dynamique temporelle du processus participatif, permettant : (1) de mettre à profit le temps long (pour favoriser les échanges et revenir sur des choix réalisés précédemment) ; (2) de considérer les intérêts et enjeux de parties prenantes multiples. Un aspect intéressant était le décalage entre les systèmes conçus par les parties prenantes « régionales » et par les agriculteurs (inclus de manière « indirecte » par des enquêtes entre les ateliers). L'implication limitée des agriculteurs remet cependant en question la dynamique de la participation. Bien que ceux-ci aient été invités, avec une participation à quelques ateliers, nous n'avons pas réussi à les mobiliser pleinement dans le processus, pour différentes raisons selon eux : « le processus est trop long » ; « il y a trop d'incertitudes, faire des prédictions est inutile » ; « il y a trop de projets, et le vôtre ne vient pas d'une demande locale ». **J'identifie plusieurs limites que je chercherai à réduire** dans mes travaux suivants : **(1) mieux inclure les agriculteurs**, notamment en les incluant plus tôt dans la démarche ou en imaginant d'autres dispositifs (ex. mesures au champ) pour favoriser leur intérêt, **(2) m'appuyer sur des dynamiques et des enjeux portés localement, (3) mieux clarifier le rôle du modèle** (pour formaliser collectivement le système, définir les indicateurs d'évaluation, explorer les futurs), **et (4) favoriser l'utilisation d'outils plus simples**, nécessitant moins de données, et permettant une exploration plus « tangible » des systèmes co-conçus.

2.3.4 Les systèmes agricoles dans la Plaine du Saïss (Maroc)

La plaine du Saïss se situe au nord du Maroc (entre le Rif et le Moyen Atlas). Ce travail a été mené dans le cadre du projet SEMI-ARID, avec l'aide d'une stagiaire, Elsa Ricote, en collaboration avec Hatem Belhouchette (IAM-CIHEAM, UMR ABSys), et Aziz Fadlaoui (INRA Meknès). Ce travail a fait l'objet d'une publication (ACL4).

2.3.4.1 Problématique : La plaine du Saïss, entre épuisement des ressources en eau et sécheresses

La plaine du Saïss s'étend sur 2 200 km^2, pour une superficie agricole de 1 910 km^2. Le climat y est semi-aride, avec de forts risques de sécheresse (El Ansari et al., 2020). L'augmentation des cultures irriguées, depuis les années 80, associées à une forte utilisation de pesticides et d'engrais chimiques (Baccar et al., 2019), a conduit à la surexploitation de l'aquifère (Quarouch et al., 2014). La majorité des exploitations de la plaine n'ont pas ou peu accès à l'irrigation, ce qui génère de fortes inégalités (Ameur et al., 2017). Ces exploitations cultivent en sec des cultures céréalières en rotation avec des légumineuses, des légumes et des espèces fourragères (El Ansari et al., 2020). Les principales sources de revenu des agriculteurs sont les ventes de céréales et de légumes (oignon et pomme de terre), dont les rendements sont très variables entre exploitations (El Ansari et al., 2020).

Les enjeux sont multiples : la volatilité des prix ou les capacités limitées de stockage à long terme (Lejars et Courilleau, 2015), la variabilité du climat, l'accès à l'eau d'irrigation (Ameur et al., 2017) et le régime foncier. L'importance de ces facteurs dans la vulnérabilité des exploitations dépend également de leur type (taille, surface irriguée, type de production).

Dans ces travaux, la question appliquée était : quelles solutions de conception sont imaginées par les parties prenantes, accompagnées par les chercheurs, pour faire face au changement climatique ? Quelles sont les performances de ces futurs systèmes possibles ? L'originalité méthodologique portait sur l'usage de cartes cognitives pour construire des narratifs et appuyer la conception des futures exploitations agricoles. A la différence de leur utilisation pour la formalisation du diagnostic dans le cas de Valensole, ici les cartes cognitives ont été utilisées comme outil d'aide à la conception des systèmes innovants.

2.3.4.2 Démarche : une approche qualitative pour concevoir les adaptations et qualifier leurs performances

Dans cette étude, j'ai souhaité tester une méthode qualitative pour construire et évaluer les systèmes agricoles futurs, de manière à m'abstraire des difficultés que j'avais observées avec les outils numériques, et en favorisant la place centrale de l'exploitation agricole. J'ai ainsi développé et mis en œuvre une démarche en trois étapes : (1) caractériser la

situation actuelle, notamment les types d'exploitation ; (2) sélectionner les facteurs de changement majeurs et identifier les adaptations des types d'exploitation, à un horizon de 15 ans ; (3) qualifier les performances de ces types d'exploitation. Nous avons tenté ici d'approcher la résilience. Ainsi, chacune des trois étapes visait à qualifier un élément de résilience, correspondant aux trois composantes suggérées par Souissi et al. (2018) : (1) caractéristiques et performances associées du système initial, (2) choc, et (3) caractéristiques et performances associées du système futur (équilibre après le choc). La résilience peut être définie comme la capacité d'un système à amortir les chocs tout en maintenant sa structure et ses fonctions (Walker et al., 2004). Pour les systèmes agricoles, la résilience peut être définie comme leur capacité à réorganiser et à maintenir des fonctions et des structures interconnectées définies à différentes échelles temporelles et spatiales (Souissi et al., 2018; Walker et al., 2004). Cette résilience est spécifique au contexte et dépend de trois caractéristiques principales : les menaces (ex. changement climatique), la vulnérabilité (exposition) et la capacité de réaction (capacité à s'adapter) (Altieri et al., 2015). Cette définition place l'agriculteur au cœur de l'amélioration de la résilience.

Dans cette étude, nous avons réalisé une série d'enquêtes auprès de 21 agriculteurs et des représentants de 6 structures en charge du conseil et de la gestion de l'eau, et mené deux ateliers avec des parties prenantes locales, dont la plupart travaillaient pour des administrations publiques (conseil, gestion de l'eau, recherche). Les représentants de coopératives et d'associations de producteurs n'ont participé qu'au premier atelier, et les opérateurs privés, bien qu'invités, n'ont pas participé du tout.

Pour formaliser la caractérisation du contexte actuel, et futur, et ainsi aider à la conception des adaptations, nous avons utilisé des cartes cognitives. Une carte cognitive est un moyen graphique de représenter des concepts interconnectés, utilisée pour représenter des systèmes complexes. Elle a été utilisée pour éliciter des modèles mentaux (Mathevet et al., 2011), pour concevoir des exploitations agricoles (Gouttenoire et al., 2013) et pour élaborer des scénarios (van Vliet et al., 2010). En tant qu'outil flexible, facile à comprendre, et qui structure les modèles mentaux des parties prenantes (Gray et al., 2014), la cartographie cognitive, associée à des narratifs, peut soutenir l'exploration de nouvelles solutions par les parties prenantes. La cartographie cognitive a été utilisée pour étudier la résilience des entreprises (Branco et al., 2019), des systèmes urbains (Olazabal et Pascual, 2016) et socio-écologiques (Gray et al., 2015), mais à notre connaissance, notre étude a été la première à l'utiliser pour étudier la résilience des systèmes agricoles.

L'étape du diagnostic a reposé sur des études existantes (Baccar et al., 2019 ; El Ansari et al., 2020a) et sur les enquêtes réalisées (Figure 10). La conception des nouveaux systèmes a été réalisée en explicitant les facteurs de changement, en structurant leurs impacts via les cartes cognitives, pour concevoir leurs adaptations. L'étape d'évaluation, contrairement aux trois études précédentes, n'a pas mobilisé de modèle numérique, et a été réalisée via la qualification des performances par les parties prenantes en atelier, selon une grille de huit indicateurs construits à partir de la littérature, incluant le travail, le revenu, la terre, les rendements, les actifs familiaux, l'accès au marché et à la commercialisation, l'irrigation, et les politiques publiques.

Figure 10. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes agricoles dans la plaine du Saïss.

2.3.4.3 Résultats : des exploitations globalement résilientes face à deux changements majeurs, le changement climatique et la raréfaction de l'eau d'irrigation

Caractérisation de la situation initiale

Sur la base de typologies précédemment réalisées sur la zone, de nos enquêtes, et d'une analyse SWOT (que nous avions construite à partir des enquêtes) partagée en atelier, nous avons défini quatre types d'exploitation (FT pour Farm Type). Deux types d'exploitation peuvent être considérés comme intensifs, avec une mobilisation importante d'intrants (notamment l'eau d'irrigation), et plus rentables (FT1 et FT4). Le FT2 correspond à une exploitation extensive typique, qui produit des céréales sèches et du bétail. Il est considéré par les parties prenantes locales comme le moins rentable. Le FT3 correspond à une exploitation mixte modérément intensive qui produit des cultures de rente et élève des ovins pour le marché. L'accès à l'irrigation est varié selon les exploitations : faible (0 et 20% des terres pour les FT2 et FT3) à fort (60% et 75% pour les FT4 et FT1). Toutes les exploitations combinent une main d'œuvre familiale et externe sauf le FT3 qui mobilise uniquement une main d'œuvre familiale. Les productions sont : (1) 90% de maraîchage et 10% de céréales pour le FT1 ; (2) 100% de céréales

pour le FT2 ; (3) 50% de céréales, 40% de légumineuses et 10% de maraîchage pour le FT3 ; et (4) 50% d'arbres fruitiers, 35% de maraîchage et 15% de céréales pour le FT4.

Facteurs de changement

La liste individuelle des facteurs, développée par les parties prenantes locales lors du premier atelier, était très variée au sein des types d'exploitations et entre eux. Ceux qui ont été les plus cités étaient similaires aux menaces identifiées lors des enquêtes : le changement climatique (FT2 et FT3) et la diminution des ressources en eau (en particulier pour le FT1 et le FT4), ainsi que les faiblesses de la commercialisation (tous) et de la main d'œuvre (en particulier pour le FT4). Sur la base de ces classements individuels, un facteur principal a été choisi pour chaque FT : le changement climatique a été considéré comme le principal facteur de changement pour les FT2 et FT3 et l'accès à l'eau d'irrigation a été identifié pour les FT1 et FT4. Nous avons ensuite considéré ces facteurs comme des chocs possibles pour tester la résilience du système.

Cartes cognitives, futurs types d'exploitation et performances associées

Les cartes cognitives ont permis aux parties prenantes de représenter les effets du facteur de changement principal sur le contexte (y compris en termes de politiques publiques, de conseil, de prix) dans lequel évolueraient les fermes, et de concevoir ainsi leurs adaptations. Ces futurs articulent donc *in fine* plusieurs facteurs de changement, explicités dans les cartes cognitives et les narratifs associés. J'illustre les résultats pour un type d'exploitation agricole (FT3), pour laquelle le facteur principal est le changement climatique.

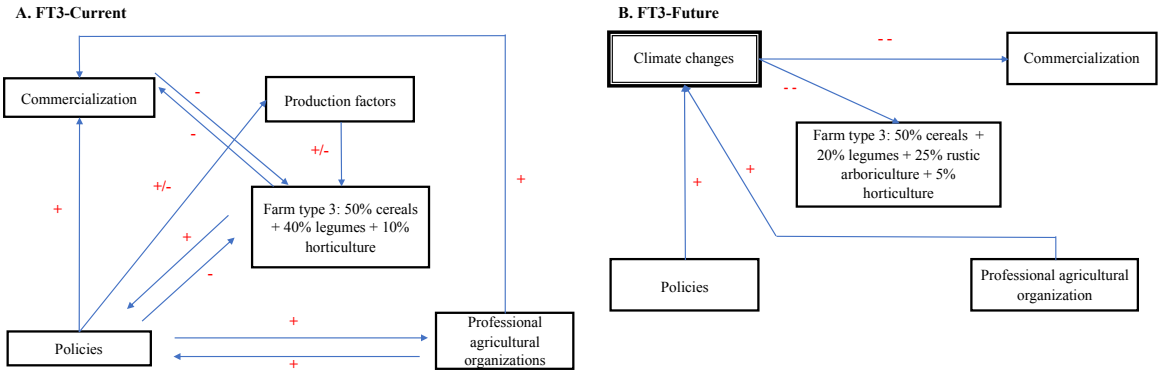


Figure 11. Exemple de carte cognitive pour le type d'exploitation FT3 pour la situation actuelle (A) et future (B), sous le facteur principal du changement climatique (ACL4).

Selon les participants aux ateliers, le type d'exploitation 3 correspond à une agriculture familiale avec un faible accès aux marchés. Bien que le gouvernement tente de structurer le marché avec des mécanismes tels que les contrats et l'étiquetage, la libéralisation des marchés agricoles a des conséquences négatives pour le FT3 : les prix de vente sont bas et instables (principalement pour le maraîchage), ce qui limite la valorisation des produits agricoles. Le choc du changement

climatique (caractérisé selon les parties prenantes par une hausse des températures, une diminution et une variabilité des précipitations, et un cycle de culture plus court) peut affecter les exploitations agricoles du FT3 de plusieurs manières, notamment par une baisse de la production et donc des revenus (Figure 11). Dans l'état futur projeté, les politiques gouvernementales devraient avoir un impact positif en amortissant les effets du changement climatique par une réorientation des stratégies (adoption de meilleures pratiques) et le renforcement du système d'assurance climatique multirisque actuel. Les organisations professionnelles sensibiliseraient les agriculteurs aux conséquences du changement climatique pour leur permettre de mieux s'adapter et d'accéder aux nouvelles technologies (irrigation, mécanisation). La principale réponse attendue au changement climatique est l'introduction des cultures arboricoles traditionnelles rustiques (olives, amandiers), à faibles besoins en eau, aux dépens des surfaces de légumineuses et du maraîchage. Ces nouveaux systèmes amèneraient une baisse des revenus (augmentation des coûts de production), de la main d'œuvre familiale (exode rural), de l'irrigation et de l'accès aux politiques publiques (Figure 12).

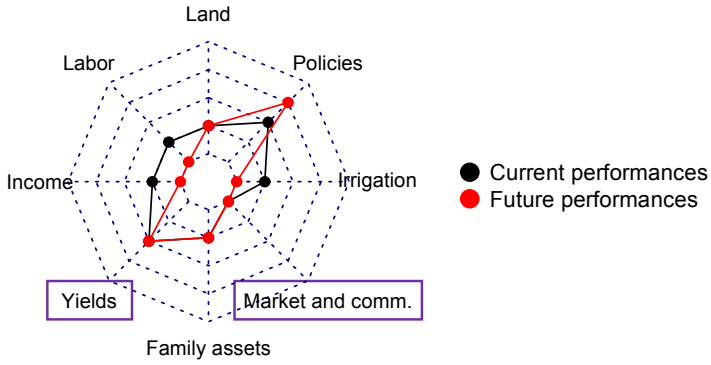


Figure 12. Indicateurs de performance d'un type d'exploitations agricoles (FT3) actuels (en noir) et futurs (en rouge). 0 = très faible ; 5 = très élevé ; ACL4.

Retours des parties prenantes

La construction des cartes cognitives n'a pas posé de difficultés aux participants, qui l'ont reconnue comme un **outil utile pour construire une vision systémique du contexte spécifique** rencontré par les différents types de ferme, et mettre en évidence leurs différences. Cette approche a permis aux participants de partager **leurs perceptions sur les systèmes actuels et futurs possibles**. Les cartes cognitives et narratifs associés ont mis en évidence les différents aspects contextuels caractérisant les systèmes agricoles, dont la perception différait entre les participants en fonction de leur institution, de leur fonction et de leur échelle d'action. Le partage des connaissances dans les ateliers a permis aux participants de considérer une image plus large de la performance, les aidant à anticiper les conséquences négatives du changement climatique selon les types de ferme.

2.3.4.4 Conclusion et bilan partiels

Dans cette étude, nous avons **combiné des cartes cognitives pour concevoir de nouveaux systèmes, et une grille de performances pour qualifier leurs performances.** Sur la base cette évaluation de la résilience, les exploitations semblaient relativement résilientes au changement climatique (du fait du faible écart entre les performances des exploitations actuelles et futures ; Figure 12). Les parties prenantes locales mobilisées supposaient ainsi que les exploitations pourraient s'adapter à l'avenir via la diversification, la réintroduction de cultures pluviales, d'espèces rustiques traditionnelles et de légumineuses pluviales. Plusieurs études antérieures ont souligné que la diversification des cultures était la clé d'une meilleure résilience des exploitations agricoles (Reidsma et al., 2009). La diversification est ainsi considérée comme un moyen de répartir le risque et de compenser d'éventuelles pertes. Nous avons cependant observé que toutes les cartes cognitives ne présentaient pas le même degré de complexité, et n'intégrait pas les mêmes composantes (ex. rôle des conseillers agricoles) ce qui pourrait être dû à la diversité des participants, et représenter un biais dans les systèmes conçus.

A noter que nous avons eu une **approche très « sommaire » de la résilience**, puisque nous n'avons ni pris en compte la transition des systèmes agricoles de leurs état actuels aux états co-conçus par les parties prenantes, ni détaillé les capacités d'adaptation et processus d'apprentissages des agriculteurs (contrairement à Grasso et Feola, 2012 par exemple). Deux autres limites majeures de cette étude sont à souligner : **(1) la très faible participation des agriculteurs et de leurs représentants (ex. coopératives) aux ateliers ; (2) le flou autour des performances évaluées dans l'approche purement qualitative adoptée, notamment sur les effets du changement climatique**. Concernant la 1ère limite, j'avais déjà souligné plus haut que l'absence des agriculteurs dans le processus de conception était un problème majeur, qui n'a pas été amélioré dans cette étude, principalement du fait de son portage local (le porteur scientifique ne travaillant pas directement avec des agriculteurs). Ceci m'amènera dans le futur à être particulièrement attentive à ce portage, et plus largement à la définition collective de la problématique de conception. Concernant la 2ème limite, je souhaite revenir vers des méthodes d'évaluation plus quantitatives, permettant une meilleure formalisation des processus et des performances, bien que leur co-construction et leur transparence restent des enjeux. Enfin, ce cas d'étude m'a interrogée plus personnellement sur la pertinence de mener ce type de démarche participative dans un contexte qui m'est inconnu et lointain. Si je ne souhaite pas arrêter mes travaux en zone Méditerranéenne sud, ce type de co-portage me semble ardu, et je souhaite privilégier un portage complet de la démarche par des chercheurs locaux, dans lequel mon rôle serait un appui méthodologique.

2.3.5 Les systèmes viticoles du bassin versant du Rieutort face au changement climatique

Ce terrain a fait l'objet de deux projets : la thèse d'Audrey Naulleau (soutenue fin 2021), et le projet Ripp-Viti[24] (en cours). Les travaux présentés ci-dessous sont issus des travaux de thèse d'Audrey Naulleau, valorisés (ACL2, ACL7) et en cours de valorisation (Naulleau et al., soumis).

2.3.5.1 Problématique : La bassin du Rieutort, une diversité de systèmes viticoles face à des aléas climatiques forts et fréquents

Le bassin du Rieutort (45 km^2, dominé par la vigne) présente une diversité de systèmes viticoles et de terroirs : (1) une zone de plaine irriguée avec une viticulture intensive au Sud, (2) une zone vallonnée avec des vignes moins intensives principalement sous AOP[25] Saint-Chinian en alternance avec des bosquets, et (3) une zone de coteaux aux conditions plus contraignantes, sur sols schisteux, avec des vignes essentiellement non mécanisées et sous AOP Faugères, au Nord ; ces trois zones représentent la diversité observée en Languedoc. Ces paysages sont également associés à un gradient de climat, plus pluvieux sur les coteaux. Ce bassin, tout comme la majorité de l'Hérault, a subi ces dernières années plusieurs accidents climatique : températures extrêmes en 2019 ayant causé des brûlures sur de nombreuses vignes, gel tardif en 2021 ayant causé la chute d'un pourcentage important de bourgeons sur une partie du vignoble. De plus, les sécheresses estivales y sont de plus en plus fréquentes et longues.

Dans le cadre de la thèse d'Audrey, un seul facteur du changement a été pris en compte : le changement climatique (d'autres seront abordés §2.3.6).

Dans les travaux présentés ici, la question appliquée était : quelles combinaisons de systèmes, spatialement localisés, conçoivent les parties prenantes locales et régionales, accompagnées par les chercheurs, pour faire face aux impacts du changement climatique ? Quelles sont les performances de ces systèmes ?

L'originalité méthodologique portait sur la combinaison de la mobilisation de scénarios climatiques précis, de la construction d'un outil de modélisation multi-échelle (parcelle, bassin versant, et de manière simplifiée exploitations agricoles) *ad hoc* basé sur les processus, et de son utilisation dans une démarche participative pour concevoir des combinaisons de changements techniques à la parcelle, et leur distribution dans le paysage.

[24] A noter que ce terrain avait déjà fait l'objet d'un projet précédent (SP3A, 2012-2015) sur l'usage des herbicides, leurs impacts, et les stratégies de réduction possible ; Jean-Marc Barbier avait participé à ce projet.
[25] Appellation d'Origine Contrôlée

2.3.5.2 Démarche : un processus de modélisation participative pour construire et simuler des stratégies d'adaptation à l'aide d'un modèle basé sur les processus

Dans sa thèse, Audrey a mis en œuvre une démarche de modélisation participative pour construire et évaluer des stratégies d'adaptation au changement climatique. La méthode construite propose trois étapes tournées vers la modélisation, et impliquant de manière graduée les parties prenantes (série de cinq ateliers) : (1) la construction du modèle, incluant les résultats de simulations climatiques, (2) son test, et (3) l'utilisation du modèle pour la simulation de la situation de référence et des stratégies d'adaptation. Les parties prenantes ont été mobilisées pour (1) la construction du modèle conceptuel et le choix des indicateurs d'évaluation ; (2) la construction de la situation de référence et l'analyse de sa simulation ; (3) la construction des stratégies d'adaptation et l'analyse de leurs simulations. **Cette méthode vise une inclusion forte des agriculteurs et autres parties prenantes agricoles dans la démarche, la co-construction de l'outil vise à éviter l'effet boîte noire, et la considération de projections climatiques permet de considérer leurs effets de manière quantitative et précise.**

Nous avons mobilisé des parties prenantes locales et régionales dans des ateliers séparés. Pour les parties prenantes locales, les travaux ont été menés avec des viticulteurs, des représentants de cave coopérative et de syndicats d'AOP, des parties prenantes locales de la gestion de l'eau (EPTB Orb et Libron[26]). Pour les parties prenantes régionales, nous avons mobilisé des représentants de Chambre d'Agriculture, de l'Institut Français de la Vigne et du Vin, de l'administration (Région) et de la gestion de l'eau.

Nous avons réalisé l'étape du diagnostic à partir d'études disponibles, d'une série d'enquêtes mise en œuvre par Audrey Naulleau auprès d'une diversité de parties prenantes (locales et régionales) et d'une cartographie participative pour construire une caractérisation géographiquement spatialisée des systèmes viticoles du bassin. Le diagnostic a également été complété par une revue systématique de littérature visant à identifier les connaissances actuelles sur les stratégies d'adaptations au changement climatique et les méthodes pour les évaluer (ACL7). L'étape de conception a été réalisée principalement au travers d'ateliers, en particulier pour identifier, avec les parties prenantes (locales et régionales), les leviers d'adaptation au changement climatique, et construire des stratégies de combinaison des leviers dans le temps et dans l'espace. L'étape d'évaluation a combiné la construction d'un modèle spatialement explicite, basé sur la co-construction avec les parties prenantes du modèle conceptuel et des

[26] L'EPTB (Établissement Public Territorial de Bassin) Orb et Libron a pour mission de mettre en œuvre le SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau), et de faciliter l'action des collectivités territoriales sur la gestion de l'eau, pour permettre sa gestion équilibrée. L'eau est ainsi considérée de manière qualitative et quantitative (https://www.vallees-orb-libron.fr/missions-statuts/).

indicateurs d'évaluation, et de modèles climatiques (deux horizons de temps, deux scénarios climatiques), pour simuler les performances des stratégies d'adaptation co-construites (Figure 13).

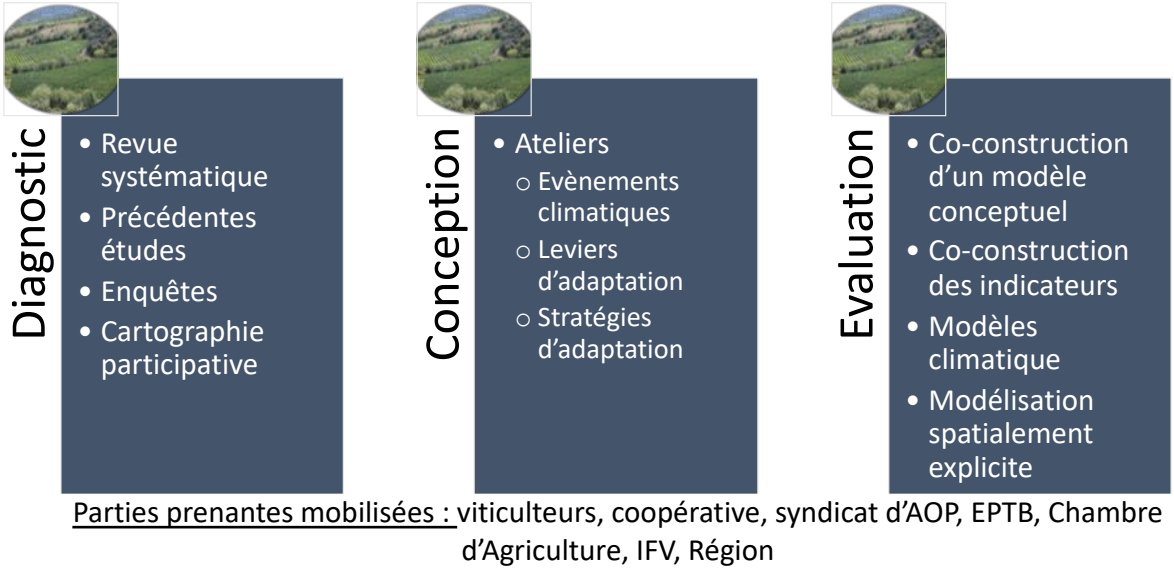


Figure 13. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes viticoles adaptés au changement climatique sur le bassin du Rieutort. Photo S. Chaix.

2.3.5.3 Résultats : des stratégies contrastées spatialement et en termes de performances

Co-construction du modèle

Pour construire le modèle conceptuel, nous avons travaillé en atelier avec les parties prenantes, pour expliciter (1) les caractéristiques d'évolution du climat (extrêmes et tendancielles), (2) leurs conséquences (rendement, mortalité), (3) l'identification des processus entre les deux (phénologie), et (4) les leviers d'adaptation possibles et leurs possibilités de mobilisation (horizon temporel, zones du bassin). Sur cette base, nous avons construit le modèle, qui se compose : (1) d'entrées (données climatiques, de sols, systèmes de cultures), (2) de processus (croissance de la vigne et plantes associées, hydrologie), et (3) de sorties (production, consommation d'eau, coûts). Les indicateurs d'évaluation ont également été discutés et choisis en atelier et lors d'enquêtes complémentaires. Le modèle de simulation, construit sous OpenFluid (Fabre et al., 2010), est spatialement explicite et a été construit sur la base du modèle conceptuel, de modèles préexistants (phénologie (Morales-Castilla et al., 2020), bilan hydrique (Celette et al., 2010), modèle hydrologique (Lagacherie et al., 2010 ; Moussa et al., 2002)), et d'un modèle de rendement développé lors de la thèse (ACL2) à partir de travaux existants (Guilpart et al., 2014).

Stratégies d'adaptation et performances associées

Sur la base de la caractérisation fine des systèmes actuels (que nous avons réalisée par cartographie participative), de la situation de référence et de son évaluation spatialisée par

simulation (validée avec les parties prenantes), nous avons construit (également par cartographie participative) quatre stratégies d'adaptation avec les parties prenantes, que nous avons ensuite simulées (Naulleau et al., soumis). La 1ère stratégie considère que toutes les vignes du bassin versant sont replantées avec une variété à maturité tardive, pour éviter que les baies ne mûrissent pendant les périodes les plus chaudes. Les simulations montrent une faible marge de manœuvre pour réduire les températures pendant la maturation.

La 2ème stratégie vise à limiter le stress hydrique (WSS), en mettant en œuvre des pratiques pour améliorer l'efficience de l'utilisation de l'eau et en augmentant les surfaces irriguées. Trois options sont différenciées pour cette stratégie, qui combinent une extension de l'irrigation selon les options de planification actuelles[27] (WSS_irri), avec des leviers à court (réduction de la canopée et enherbement partiel de l'inter-rang ; WSS_ST) ou à long terme (systèmes d'ombrage, réduction de la densité ; WSS_LT) sur certaines parties du bassin déterminées par les parties prenantes. Nos simulations montrent que ces stratégies permettraient de limiter les diminutions de rendement par rapport à la situation de référence sous climat futur, mais pas toujours de compenser les pertes de production dues au changement climatique, malgré une forte augmentation des besoins en eau d'irrigation (Figure 14). Seule la stratégie la plus ambitieuse (irrigation + leviers de court et long termes) permettrait de maintenir la production actuelle à l'horizon 2031-2060.

La 3ème stratégie vise à améliorer les sols, en combinant des pratiques de gestion du sol avec des porte-greffes de haute qualité pour accroître la capacité en eau disponible du sol et l'enracinement profond de la vigne. Cette stratégie n'a pas été simulée du fait du manque de données. Enfin, la 4ème stratégie porte sur la relocalisation du vignoble vers le nord, compte tenu de la meilleure résistance des systèmes viticoles du Nord au changement climatique (ACL7). Les nouvelles surfaces ont été déterminées à l'aide d'analyse d'images de 1974, pour identifier les parcelles non cultivées en vigne aujourd'hui et qui l'étaient alors. Ceci mène à un ajout de 330 ha de vignes (au Nord et au Sud), qui permettrait de maintenir les niveaux de production actuels, et même de les augmenter, y compris sous le scénario climatique « du pire » (RCP 8.5) à l'horizon de temps le plus lointain (2071-2100). A noter que cette stratégie n'est pas complètement réaliste : les parcelles du Nord ont été abandonnées car peu productives et difficiles d'accès ; les parcelles du Sud ont été converties en d'autres cultures (possiblement irriguées).

[27] L'atelier de cartographie participative a aussi permis de déterminer les zones qui pourraient être irriguées dans le futur, en lien notamment avec des études en cours sur la création de bassines.

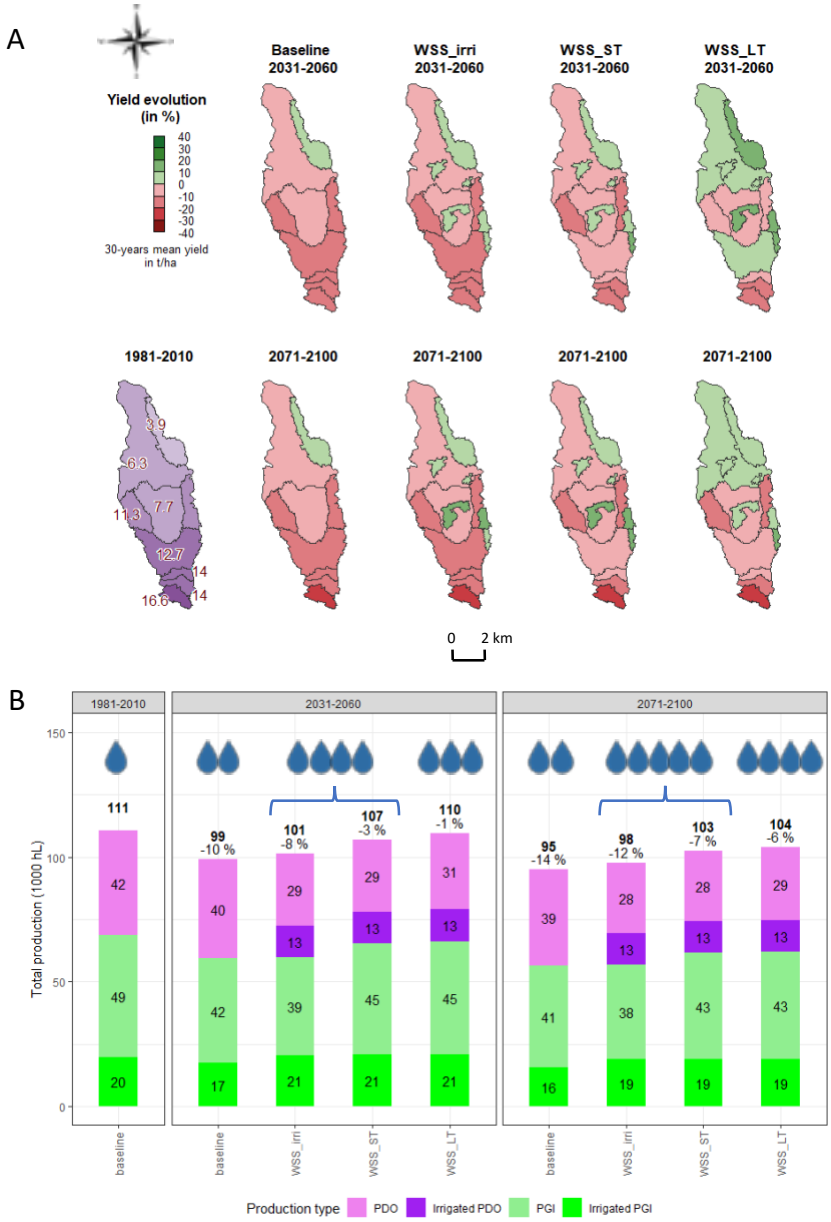


Figure 14. Évolution de la production de la vigne sous le scénario RCP 8.5 pour les périodes 2031-2060 et 2071-2100 par rapport à la période historique (1981-2010) : (A) variation du rendement moyen par secteurs de production et (B) volume annuel moyen de production et besoins en eau associés (nombre de gouttes).

<u>Résultats à l'échelle de l'exploitation agricole</u>

A la demande des parties prenantes, qui ont participé à le définir, un indicateur à l'échelle des exploitations a permis d'évaluer le rapport coût-efficacité des stratégies d'adaptation, traduit en termes de variation du prix du vrac. Cet indicateur, calculé pour quelques exploitations[28] du bassin versant, prend en compte le coût de l'adaptation (estimé soit par littérature, soit par expertise), et son bénéfice attendu en termes de rendement, tel que simulé par le modèle. Ces

[28] Les exploitations ont été sélectionnées, avec certaines parties prenantes locales, selon leur orientation productive, leur statut (cave coopérative ou particulière) et leur localisation, parmi les exploitations présentant la majorité de leurs surfaces sur le bassin.

calculs simplifiés ont montré qu'aucune stratégie ne coûte plus qu'elle ne rapporte, la majorité des stratégies coûtant même moins que leur bénéfice en termes de rendement.

Évaluation par les parties prenantes

Lors du dernier atelier, les parties prenantes ont classé les leviers selon leur caractère souhaitable et leur faisabilité, y compris pour les leviers pour lesquels aucune simulation n'avait pu être réalisée (Figure 15). De manière surprenante, des leviers montrant une certaine efficacité (selon les simulations) en termes d'adaptation au changement climatique sont considérés comme ni faisables, ni souhaitables par les parties prenantes (cépages tardifs, ombrage, irrigation). Les raisons peuvent être physiologiques (l'irrigation diminue l'enracinement profond et crée une « dépendance »), paysagères (l'ombrage défigurerait les paysages), ou organisationnelles (les cépages tardifs seraient trop contraignants en termes d'organisation du travail). Le levier de réduction de la densité de plantation, avec un impact, simulé par le modèle, positif sur l'adaptation au changement climatique, a été jugé souhaitable et faisable. Cette adaptation se heurte cependant aux cahiers des charges actuels des AOP. Enfin, un grand nombre d'adaptations jugées souhaitables n'ont pas pu être évaluées, et pourraient correspondre à des priorités de travail pour la suite.

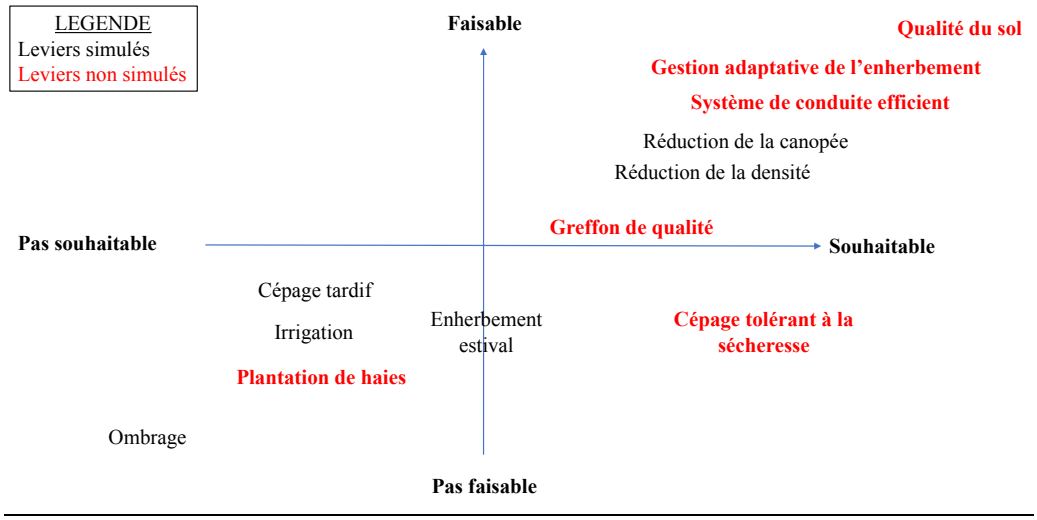


Figure 15. Classement des leviers par les parties prenantes selon leur souhaitabilité et leur faisabilité (Naulleau et al., soumis).

Retour des parties prenantes

A la fin du processus participatif, nous avons organisé une discussion générale, et un questionnaire individuel, qui nous ont permis d'identifier les points forts et faibles de la démarche générale selon les attentes des deux groupes de parties prenantes. Tout d'abord, les attentes différaient entre les deux groupes : alors que les parties prenantes locales souhaitaient avoir une idée plus précise du changement climatique dans leur zone, et voir les différentes

solutions, les parties prenantes régionales souhaitaient partager des connaissances et avoir une quantification de l'efficacité des mesures. Ils ont tous deux jugé « plausibles » les résultats sur la situation de référence, et « moyens » les impacts et stratégies d'adaptations au changement climatique. Ceci est un résultat positif à mon sens, qui montre que la démarche a permis de montrer que le modèle ne « prédisait » pas le futur, mais permettait de l'explorer. Ceci est à mettre en lien avec un point fort de la démarche souligné par les participants des deux groupes : **un espace de rencontres, de discussions, d'échanges permettant de construire ensemble une diversité de leviers, et leurs combinaisons dans l'espace**. A ce titre, on peut considérer, à mon sens, que le modèle a bien rempli son rôle d'outil intermédiaire.

2.3.5.4 Conclusion et bilan partiels

L'approche de modélisation participative mise en œuvre dans le cadre de la thèse d'Audrey Naulleau a permis de **construire et d'évaluer, avec des parties prenantes locales et régionales, des stratégies d'adaptation des systèmes viticoles au changement climatique, différenciées au sein du bassin versant.** Ceci a permis de pallier une faiblesse d'une majorité d'études sur le changement climatique : la non considération du local (parties prenantes, contraintes, opportunités, systèmes). Même si construits localement pour un bassin versant spécifique, ces résultats peuvent être utiles à une réflexion plus large, pour le vignoble Languedocien, du fait de la large diversité des systèmes présents sur le bassin du Rieutort. Cette étude a finalement montré qu'il existe des combinaisons de leviers permettant aux systèmes viticoles de faire face au changement climatique, et que certaines de ces combinaisons nécessitent des changements à d'autres échelles, par exemple sur les cahiers des charges de la production AOP, ou sur l'accès à l'irrigation. Cette étude concourt ainsi à la réflexion des parties prenantes locales sur l'adaptation au changement climatique des paysages viticoles.

Dans cette étude, la construction d'un modèle mécaniste relativement complexe a permis aux parties prenantes, dans une certaine mesure, de se l'approprier, et notamment d'en apprécier les incertitudes. Cela tient à trois éléments principaux : (1) la construction pas à pas du modèle favorisant la transparence de l'outil, (2) son paramétrage réalisé partiellement avec des données mesurées dans des parcelles d'agriculteurs participant au processus, (3) la formalisation des résultats, les rendant accessibles et compréhensibles, y compris pour des parties prenantes n'ayant pas participé à tous les ateliers de la démarche. Bien que limitée, la prise en compte de l'échelle de l'exploitation (avec un indicateur co-construit) a été soulignée comme essentielle par les parties prenantes locales. **Ces éléments confortent mon souhait de renforcer la participation des agriculteurs, la place de l'exploitation agricole et l'utilisation d'outils répondant aux attentes des parties prenantes locales.**

2.3.6 Les systèmes viticoles du bassin versant du Rieutort face à l'enjeu de réduction des impacts des pesticides

Cette étude a été réalisée dans le même contexte que la thèse d'Audrey Naulleau (§2.3.5). Un projet de recherche avait été mené sur ce bassin versant avant la thèse d'Audrey, qui portait sur l'usage et la réduction des herbicides. Ce territoire a été mobilisé dans le cadre du projet Ripp-Viti[29] (en collaboration avec les UMR Lisah, ABSys, Ecosys, ITAP, et des partenaires professionnels). Je présente la démarche mise en œuvre, avec l'appui de Claire Schneider (CDD IE), pour concevoir des stratégies pour réduire les usages et impacts des pesticides dans un bassin viticole. Cette démarche fait l'objet d'un article soumis (Hossard et al., soumis[30]).

2.3.6.1 Problématique : la viticulture, culture principale héraultaise fortement consommatrice de pesticides

Les systèmes viticoles sont fortement consommateurs de pesticides, avec un IFT moyen de 12,4 en 2019 (source Agreste 2021), près de trois fois supérieur à celui des céréales (blé tendre, orge) (données Agreste 2017). Comme présenté plus haut, la vigne est la culture principale sur le bassin versant du Rieutort, avec une diversité de systèmes associés à des sols, labels de qualité (IGP, AOP), et niveaux de production qualitatif et quantitatif différents. Ce bassin versant correspond à l'aire d'alimentation d'un captage, classé parmi les 500 captages (Grenelle) les plus menacés par les pollutions diffuses en France. Dans ce cadre, le bassin fait l'objet d'animations agro-environnementales par l'EPTB Orb et Libron.

Il existe deux options pour réduire les pollutions dues aux pesticides : limiter leur utilisation, ou réduire l'impact environnemental associé à leur utilisation. Les leviers pour atteindre ces diminutions d'usages ou d'impacts sont nombreux, et visent soit les zones tampons, soit la gestion agricole, et leur répartition spatiale dans le paysage. Concernant les zones tampon, les haies peuvent par exemple limiter les dérives de pulvérisation (Lazzaro et al., 2008). Pour les pratiques agricoles, les leviers dépendent de la cible (adventices, champignons, insectes). Pour la gestion des adventices, deux leviers dominants sont déjà utilisés pour diminuer l'usage des herbicides : la destruction mécanique (travail du sol et labour), ou l'enherbement, mais ne sont pas toujours adaptés (pente, type d'adventices), et peuvent impliquer un temps de travail et des coûts supplémentaires, et générer des risques sur le rendement. Pour la lutte contre les insectes, les leviers sont les observations, et l'utilisation d'agents de biocontrôle (ex. Pertot et al., 2017). Pour la gestion des champignons, le biocontrôle peut également être utilisé pour réduire

[29] Réduire les impacts des produits phytosanitaires en viticulture méridionale à l'échelle territoriale

[30] A role-playing game to stimulate thinking on vineyards management for limiting pesticide use and impact. Soumis à Journal of Cleaner Production

l'utilisation de fongicides (Pertot et al., 2017). Deux autres leviers principaux peuvent être utilisés pour réduire les fongicides : l'utilisation de cultivars tolérants aux maladies, et l'utilisation d'outils décisionnels pour optimiser les traitements (Pertot et al., 2017), qui contribuent à retarder le premier traitement, et limitent l'utilisation de fongicides (Encadré 7). Un autre levier concerne les matériels de pulvérisation, avec des pulvérisateurs réduisant la dérive et les doses appliquées (Pergher et Petris, 2008 ; van de Zande et al., 2008). Les solutions optimales combinent généralement les leviers dans le temps et dans l'espace. Cependant, elles rencontrent toutes des obstacles pour leur adoption par les agriculteurs, par exemple l'efficacité instable du biocontrôle (Lamichhane et al., 2017).

Dans les travaux présentés ici, la problématique appliquée abordée est : Quelles stratégies de réduction des usages et impacts des pesticides conçoivent les parties prenantes locales, accompagnées par les chercheurs, pour les systèmes viticoles du Rieutort ?

L'originalité méthodologique portait sur la construction et la mise en œuvre d'un jeu sérieux multi-échelle et multi-cibles.

Encadré 7. Quantification de l'impact des pratiques de protection des cultures sur l'utilisation des pesticides dans les systèmes viticoles (ACL15).

Cette étude a été menée par Florine Mailly (thèse non soutenue que j'ai co-encadrée). Elle visait à décrire et évaluer la contribution de diverses options de gestion des maladies et des mauvaises herbes sur la réduction des fongicides et des herbicides, en quantifiant à la fois leur utilisation et leur effet sur l'intensité d'utilisation des pesticides. Nous avons réalisé une analyse statistique de l'utilisation des pesticides et de la gestion des cultures sur deux saisons pour 11 régions viticoles françaises, en caractérisant : le moment de la 1ère pulvérisation de fongicide, le type de couverture du sol et le type de désherbage. Pour chaque option de gestion, nous avons comparé les pratiques alternatives aux pratiques chimiques. Les résultats montrent que chaque pratique alternative permet de réduire l'IFT, mais que cet impact diffère entre les régions viticoles et entre les options de gestion considérées. Pour les fongicides, nous montrons que retarder la 1ère pulvérisation de fongicides permet de réduire l'IFT fongicides jusqu'à 50%. Les différences d'utilisation et d'impact des pratiques alternatives étaient plus importantes entre les régions qu'entre les deux années étudiées. Cette étude ne regardait pas le lien entre les usages de pesticides et la production, ceci n'étant pas permis par la base de données mobilisée.

2.3.6.2 Démarche : un jeu sérieux pour stimuler la réflexion

Pour pallier aux difficultés citées plus haut (participation des agriculteurs, outil éloigné des parties prenantes, prise en compte de l'échelle de l'exploitation), nous avons articulé dans cette étude des enquêtes (agriculteurs, autre parties prenantes agricoles locales) et des

ateliers pour : (1) construire un diagnostic de la zone viticole (dont typologie des exploitations agricoles) ; (2) identifier les objectifs des stratégies, les indicateurs pour leur évaluation et les leviers de changement ; (3) collecter les informations pour construire **un jeu sérieux** ; et (4) utiliser le jeu pour concevoir et évaluer les changements de pratiques.

Parmi les méthodes participatives de conception de stratégies, celles combinant conception et modélisation (modélisation participative) peuvent faciliter la prise de décision vers l'atténuation de l'enjeu considéré (ex. Barnaud et al., 2008). Pour la réduction des pesticides, on peut citer l'exemple de Co-click'eau (Chantre et al., 2016), qui vise à élaborer, avec les parties prenantes, des plans d'action de bassin versant (scénarios d'occupation des sols et de type de production), dont les performances sont ensuite simulées à l'aide d'indicateurs simples d'utilisation des pesticides. Un autre type d'approche, qui a récemment gagné en importance, est celui des jeux sérieux basés sur des simulations informatiques. Cette approche permet de prendre en compte les points de vue des parties prenantes, leur contexte décisionnel, et de stimuler l'apprentissage (Becu et al., 2008). Des études récentes ont proposé des jeux sérieux stimulant l'apprentissage des pratiques agroécologiques et de leurs impacts sur la durabilité environnementale (y compris l'utilisation de pesticides), économique et sociale à l'échelle de l'exploitation (SEGAE, Jouan et al., 2021), ou pour concevoir des itinéraires techniques de gestion du vignoble plus respectueux de l'environnement à l'échelle du champ, combinés à des analyses de cycle de vie incluant les toxicités des pesticides pour l'homme et l'eau (VitiPoly, Rouault et al., 2020). Ces deux études ont porté sur des échelles spatiales limitées, et ont simplifié, ou examiné partiellement les impacts des pesticides sur les différentes cibles potentielles. À l'échelle territoriale, Della Rossa et al. (2022) ont développé un jeu de rôle pour co-concevoir des systèmes agricoles afin de réduire les pollutions par les herbicides, évalués à l'aide d'une simulation de modèle basé sur les processus. Cette étude s'est toutefois appuyée sur des outils de modélisation préexistants déjà paramétrés, et s'est concentrée sur les herbicides uniquement.

Nous avons mis en œuvre notre approche de construction et de mise en œuvre du jeu sérieux avec les parties prenantes locales (viticulteurs, conseillers, coopérative, syndicat AOP) de la zone d'étude, et des experts/parties prenantes régionales (syndicat AOP, IFV, Chambre d'Agriculture, DRAAF, Agence de l'Eau), et des chercheurs spécialistes de leviers. Nous avons mobilisé les parties prenantes locales et régionales de manière séparée, à travers deux séries de deux ateliers. L'hypothèse derrière ces deux groupes gérés séparément était que les experts proposeraient des leviers et des stratégies plus exploratoires et créatifs, et moins dépendants d'un contexte local. A l'inverse, le groupe local proposerait des leviers et des stratégies plus

« business as usual », mais en explicitant leurs contraintes et leurs obstacles, ce qui permettrait de mettre en évidence leur faisabilité (technique et organisationnelle) et leur acceptabilité.

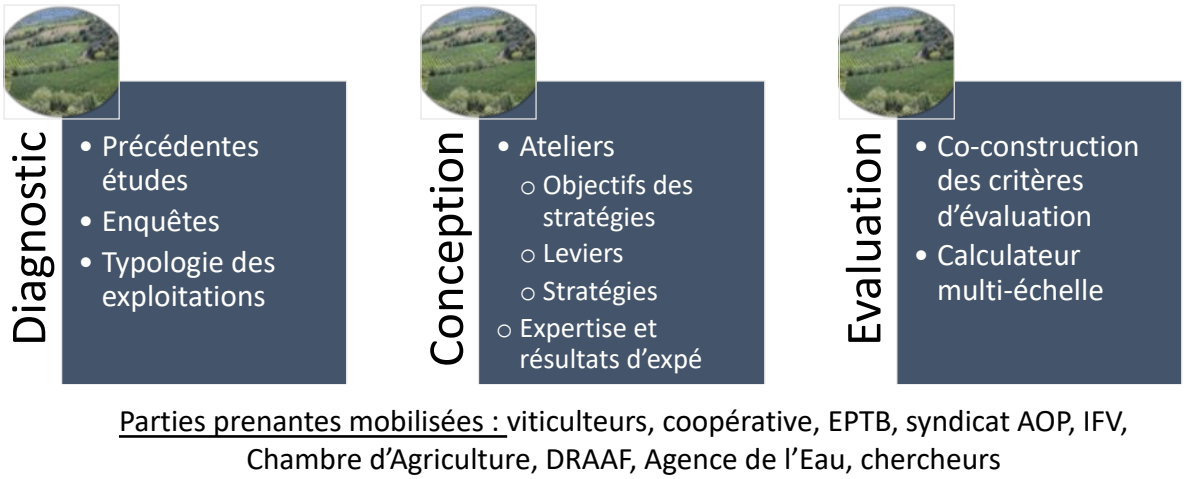


Figure 16. Principales méthodes utilisées pour la conception-évaluation de systèmes viticoles visant à réduire les usages et impacts des pesticides. Photo S. Chaix.

Nous avons réalisé l'étape de diagnostic à l'aide de précédentes études (thèse Audrey Naulleau, projet SP3A) et d'enquêtes détaillées auprès de 26 agriculteurs et de parties prenantes locales (responsables d'AOP, président de la coopérative principale, représentante de l'EPTB Orb et Libron, et fournisseur local de pesticides). L'analyse statistique des enquêtes des viticulteurs nous a permis de construire une typologie des exploitations. Nous avons réalisé l'étape de conception (1) en atelier, pour identifier les objectifs des stratégies, les leviers de réduction d'usage et d'impact, et les stratégies via l'utilisation du jeu sérieux (Figure 16), (2) à l'aide de résultats d'expérimentations pour calibrer certains leviers de changement (ex. réduction des fongicides). L'évaluation s'est appuyée sur l'identification des critères d'évaluation par les parties prenantes, traduits ensuite au laboratoire en indicateurs par les chercheurs. Ces indicateurs sont mobilisés dans un calculateur multi-échelles qui quantifie les impacts des changements de pratiques sur (1) les usages de pesticides (IFT, IFT hors biocontrôle, IFT CMR[31]) et (2) les impacts potentiels sur l'environnement (vers de terre, pollinisateurs, organismes aquatiques, eau potable) et sur l'homme (applicateur, résident). Ces indicateurs sont calculés, aux échelles bloc de parcelle, exploitation type et bassin versant, pendant le jeu[32].

2.3.6.3 Résultats : des stratégies permettant de réduire fortement les impacts potentiels

Principaux éléments du jeu

Nous avons construit le jeu autour de sept éléments (Figure 17) : (1) la description des types d'exploitations agricoles et (2) des leviers de changement potentiels pour chaque exploitation

[31] Cancérigène, Mutagène, Reprotoxique
[32] via une application que j'ai développée sous RShiny (Chang et al., 2016).

(quatre types d'exploitation) ; (3) une fiche de choix de changement pour chaque type d'exploitation pour chacun des trois blocs de l'exploitation (différant par leur sol ou pratiques, avec un bloc proche d'habitations) ; (4) une représentation simplifiée du bassin versant ; (5) des panneaux d'information sur les processus et les leviers d'action ; (6) des informations complémentaires ; (7) le calculateur permettant d'évaluer *ex ante* les usages et impacts potentiels des pratiques à différentes échelles.

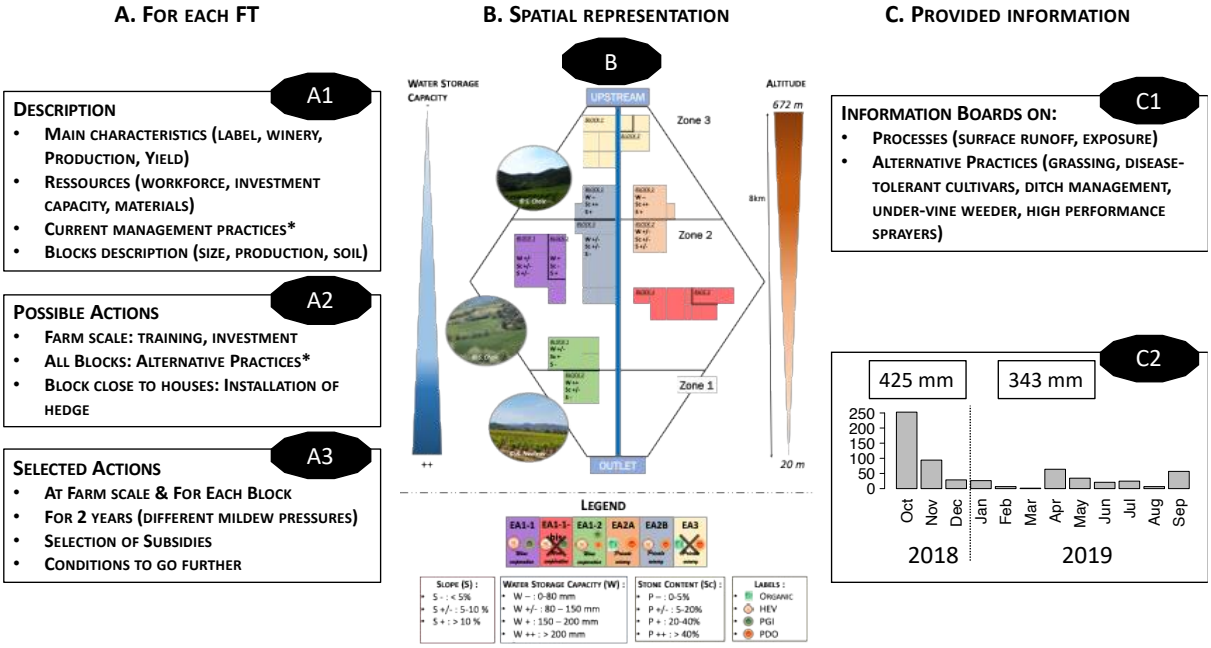


Figure 17. Éléments composant le jeu. FT = Type d'exploitation agricole.

Nous avons inclus deux types de rôles dans le jeu : des viticulteurs, chacun en charge d'une des exploitations types ; et un gestionnaire public, dont le rôle sera, après le premier des deux tours, d'évaluer les demandes de subventions des agriculteurs et l'évolution des impacts potentiels, et de suggérer de nouveaux changements de pratiques, éventuellement à l'aide de nouvelles subventions, pour le second tour. Nous réalisons un debriefing à la fin de la session de jeu, sur (1) le réalisme des changements proposés, (2) la non-sélection de certaines options de changement, (3) l'évaluation du jeu.

<u>Synthèse des stratégies co-construites avec les parties prenantes</u>

Nous avons organisé trois sessions de jeu : (1) avec les parties prenantes régionales (3 binômes de parties prenantes pour les joueurs agriculteurs, un chercheur en joueur agriculteur, et un binôme chercheur- représentant de l'Agence de l'Eau pour le joueur gestionnaire public) ; (2, 3) des parties prenantes locales (joueurs agriculteurs joués par des agriculteurs et une technicienne d'AOP ; pour le joueur gestionnaire public un chercheur d'une part, un binôme de représentants de l'EPTB d'autre part). Je ne détaille pas ici les résultats par session, ceux-ci étant très nombreux (choix de pratiques, pour chaque joueur et sur chacun de ses trois blocs de

parcelles, en termes de gestion insecticide, fongicide, herbicide sur le rang et sur l'inter-rang, mise en place de haies, investissements dans des pulvérisateurs limitant la dérive, mobilisation de MAE[33]).

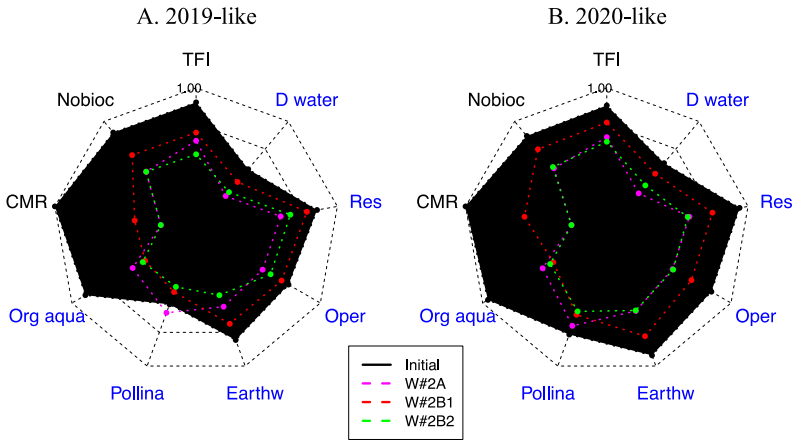


Figure 18. Évaluations à l'échelle du bassin versants pour les trois sessions (W#2A correspond au groupe de parties prenantes régionales, W#2B aux groupes de parties prenantes locales).
En noir sont indiquées les indicateurs basés sur les usages (TFI : IFT ; Nobioc : IFT sans produit de biocontrôle ; CMR – IFT CMR), et en bleu les indicateurs basés sur les impacts potentiels (Org aqua - Organismes aquatiques ; Pollina : Pollinisateurs ; Earthw : Vers de terre ; Oper : Opérateurs ; Res : Résidents ; D water - Eau potable).

Dans les trois sessions, tous les joueurs ont changé leurs pratiques, de manière graduée (avec certains extrêmes : un joueur du groupe régional a décidé de passer son exploitation en bio ; un joueur du groupe local a décidé de changer pour des cépages tolérants sur toute son exploitation). Certains choix de pratiques ont été réalisés par la majorité des joueurs des trois sessions : régler le matériel de pulvérisation, enherber les tournières, arrêter le labour d'automne, adhérer à un GDON[34]. Les choix concernant les modifications de l'enherbement entre les rangs, les traitements herbicides et fongicides étaient plus divers, au sein et entre les sessions, mais toujours plus ambitieux pour les blocs de parcelles proches des habitations.

Les joueurs du groupe d'experts régionaux ont été plus ambitieux sur les stratégies fongiques, sur l'enherbement de l'inter-rang et sur l'arrêt du glyphosate sur le rang. Ceci a amené une demande des subventions très forte du groupe d'experts régionaux (pour le 0 glyphosate, l'enherbement, le passage en bio), à comparer avec les faibles demandes des groupes de parties prenantes locales (y compris lors du choix d'une pratique ouvrant à subvention, celle-ci n'était pas toujours demandée pour « pouvoir changer si besoin »). Les choix opérés dans les trois sessions ont amené une forte diminution des usages et impacts potentiels des pesticides à l'échelle du bassin versant (Figure 18).

[33] Mesure Agro-Environnementale
[34] Un GDON (Groupement de Défense contre les Organismes Nuisibles de la vigne) permet de réduire le nombre de traitements obligatoires contre la cicadelle. Sur le Rieutort, un GDON existe au Nord de la Zone. Ailleurs dans le bassin, des tentatives ont été réalisées sans succès (besoin de financements et de coordination entre viticulteurs).

Retour des parties prenantes

Dans les trois sessions, les participants ont souligné la « valeur pédagogique » du jeu, car il « pouvait initier des discussions et des réflexions sur les stratégies de changement », « avec une visualisation immédiate des changements dans les impacts environnementaux potentiels ». Ils ont également souligné la convivialité et la richesse des échanges entre les participants. Les changements proposés lors du jeu ont été jugés majoritairement réalistes, y compris sans subvention. En ce qui concerne les alternatives non choisies par les groupes de parties prenantes locales, l'enherbement, le bio, le 0 glyphosate et l'utilisation de pulvérisateurs confinés ont été discutés. Pour les trois premières, le rendement et la faisabilité (y compris la question de la construction d'une chaîne de vinification séparée à la cave coopérative pour la production de raisins biologiques) ont été soulignés comme critiques. Pour les pulvérisateurs confinés, le temps de travail supplémentaire, les coûts et la faisabilité ont été soulignés comme de fortes limites.

Enfin, les parties prenantes locales ont insisté sur les difficultés à changer radicalement leurs pratiques en raison (1) des grandes surfaces à gérer et des champs conçus pour la mécanisation, (2) de la rigidité des cahiers des charges (Bio, MAE enherbement), ce qui freine certains agriculteurs qui ont peur d'être bloqués en année « spéciale » ; (3) la faisabilité des cultivars tolérants aux maladies, tant au niveau de la commercialisation, que de leur intégration dans les labels AOP. Ils ont proposé des moyens de surmonter certains de ces blocages, comme des subventions plus élevées, y compris pour la main-d'œuvre, en particulier pour les zones vulnérables, associées à un soutien technique aux viticulteurs dans leurs transitions.

Certaines limites, ou inconvénients possibles, ont également été suggérés : (1) **l'absence d'évaluation économique** (ex. modification de la capacité d'investissement lors du passage au bio) ; (2) la difficulté d'intégrer des **leviers collectifs**. Dans le jeu, seuls le GDON et la CUMA[35] sont des outils collectifs. Les experts ont suggéré des leviers supplémentaires, tels que des employés partagés. (3) Les parties prenantes locales ont suggéré d'utiliser des artefacts (par exemple, des objets comme un mini pulvérisateur) pendant le jeu, pour donner une forme tangible aux décisions, et structurer les informations les plus importantes à prendre en compte pour prendre des décisions, car ils ont souligné le trop grand nombre d'informations.

[35] La CUMA, Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole, permet de partager le matériel entre agriculteurs. Cette option pouvait être suggérée par le joueur gestionnaire public, en particulier pour les matériels onéreux comme les pulvérisateurs limitant la dérive.

2.3.6.4 Conclusion et bilan partiels

Nous avons développé et utilisé un jeu sérieux pour réfléchir à des stratégies alternatives d'utilisation des pesticides dans les vignobles. Une force, et originalité, de notre approche est de cibler tous les types de pesticides, et un large éventail de compartiments potentiellement impactés. Le 2ème point fort est la perspective multi-échelle que nous avons adoptée pour la conception et l'évaluation des stratégies : blocs de parcelles, exploitation et bassin versant. Le 3ème point fort est de permettre de considérer une combinaison de leviers, et de considérer une diversité de choix. Notre approche, qualifiée de « pédagogique » par les parties prenantes, a permis aux parties prenantes -joueurs de discuter des options de changement possibles, et de se projeter dans leur mobilisation, et donc d'éliciter leur faisabilité technique, organisationnelle, et commerciale. Associer ces changements à une analyse économique serait une réelle amélioration, bien que difficile à réaliser en raison du manque de connaissances sur les relations entre la pression des ravageurs et des maladies, l'application de pesticides, et le rendement de la vigne et la qualité du vin. Les différentes attitudes entre les parties prenantes locales et les experts et parties prenantes régionales ont également révélé des perceptions différentes sur les investissements, les risques et les subventions. **Le jeu sérieux me semble ainsi un outil à même de permettre une co-conception et une co-évaluation transparente et utile pour les parties prenantes**, sous réserve de modifier l'étape d'apport de connaissances.

2.3.7 Mon bilan personnel

Je propose ici une analyse plus personnelle de mon rôle, y compris d'encadrement, dans les cas d'études présentés ci-dessus et des enseignements que j'en tire en termes d'atouts, de difficultés et de limites des méthodes mises en œuvre.

2.3.7.1 Co-portage de la démarche, maîtrise du contenu des modèles et recul critique sur leur utilisation : 3 premiers cas d'études

Dans ma thèse, j'ai développé une méthode de construction de scénarios d'organisation de systèmes de culture, à l'échelle d'une petite région, combinant démarche participative et modélisation numérique. J'ai mobilisé des concepts, méthodes et outils de différentes disciplines au cours de ma thèse : agronomie, génétique, pathologie et épidémiologie végétale, écologie du paysage, approches participatives (enquêtes et ateliers collectifs) et statistiques. Le co-encadrement par une agronome système (Marie-Hélène Jeuffroy) et une agronome spécialiste des démarches participatives (Véronique Souchère) m'a permis de monter en compétence sur ces disciplines et méthodes. **La démarche que j'ai mise en œuvre dans ma thèse a été, au final, « moins » participative que les travaux qui ont suivi.** Dans mes recherches suivantes, j'ai essayé de tirer bénéfice des limites de ma thèse : (1) besoin d'une inclusion des parties prenantes précocement (pour stimuler la participation), en particulier pour (1a) participer à la définition de la question à traiter et du modèle à utiliser/développer (éviter l'effet boîte noire et les risques d' « analyse de sensibilité ») et (1b) permettre l'appropriation de la démarche et de ses outils ; (2) nécessité d'avoir une approche localisée, i.e. avec ses « vrais » parties prenantes, (3) pertinence de s'appuyer sur des artefacts (scénarios) pour penser les futurs possibles, et enfin (4) importance de la co-évaluation les scénarios.

Les démarches générales des cas d'étude de Camargue et de Valensole avaient été définies à mon arrivée à l'UMR Innovation, et avaient été pensées de manière adaptative. J'ai de ce fait participé de près aux choix opérés dans ces deux études : que construire avec les parties prenantes ? Comment ? Comment (re-)mobiliser les parties prenantes dans le cas de Valensole ? Pour quel objectif ? Dans ces recherches, j'avais **un rôle de co-portage de la démarche** avec les chercheurs des projets, avec un rôle particulier sur la formalisation de la démarche et, dans le cas de Valensole, sur la place de l'agronomie. Dans les deux cas, je n'ai pas codé, ou manipulé directement les modèles d'évaluation, portés par des collègues, mais j'ai dû en comprendre le fonctionnement, la structure, les atouts et les limites pour aider à construire leur rôle dans la démarche de modélisation participative.

Pour mieux appréhender les modèles bioéconomiques qui cherchent à représenter la décision des agriculteurs, j'ai encadré le stage de fin d'études d'ingénieur de Thibault Lefeuvre, dont

l'objectif était de réaliser un tel modèle sur quelques exploitations du Plateau de Valensole. Ceci m'a permis de percevoir la difficulté à **(1) construire les données quantitatives nécessaires ; (2) paramétrer ces modèles pour refléter « la réalité ».** Ces modèles reposent en effet sur la définition d'une « fonction objectif », souvent de type économique (maximisation du revenu). Bien que cet outil soit très utilisé pour explorer des scénarios, il reste dans une certaine mesure une « boîte noire », et je ne pense pas que cet outil soit le plus apte à travailler avec des parties prenantes pour favoriser leurs réflexions sur l'évolution de leurs systèmes. Cela a fonctionné en Camargue, mais j'analyse cela comme très en lien avec les partenariats de très long terme engagés sur ce terrain, et sur la connaissance antérieure du modèle par les parties prenantes du fait d'études précédentes. En revanche, **la démarche de modélisation d'accompagnement, bien que très exigeante en temps et en compétences (modélisation, facilitation), me semble plus prometteuse dans le type de recherche que je souhaite mener**. Elle permet une meilleure appropriation des résultats, du fait d'une construction pas à pas du modèle de simulation avec les parties prenantes. Le retour des agriculteurs sur les raisons de leur non-participation indique qu'ils considéraient la démarche trop éloignée de leurs préoccupations, et le temps de la démarche non adapté. Je pense que nous avons eu une perspective trop régionale au début de ce travail, avec très peu d'enquêtes d'agriculteurs (4) portées par nous-mêmes lors de la phase de diagnostic (un diagnostic agronomique a été réalisé par les étudiants de l'Institut Agro Montpellier dans le cadre de notre projet Climatac, mais le lien entre ce diagnostic et le processus de conception n'a pas été clairement explicité auprès des agriculteurs).

2.3.7.2 Construction de la démarche de recherche, cadrage du terrain de recherche et retour sur les outils : 3 derniers cas d'étude

J'ai été davantage à l'initiative des cas d'étude suivants, sur le Saïss, la thèse d'Audrey Naulleau et le jeu sérieux sur le bassin du Rieutort. Dans les trois cas, j'ai accompagné les étudiantes dans la construction de leur démarche de recherche : quels objectifs de la participation ? Quelles modalités mettre en place pour atteindre ces objectifs, définis à la fois pour l'équipe de recherche et pour les parties prenantes mobilisées ? Mon rôle a été différent entre les études du fait de la maturité scientifique différente des étudiantes encadrées : accompagner la réflexion d'Audrey Naulleau, essayer de lui ouvrir des perspectives vs. une orientation plus forte d'Elsa Ricote dans le cadre de son stage de M2 (cas du Saïss) vs. une posture d'encadrement intermédiaire de Claire Schneider (CDD IE, jeu sérieux). Dans les trois cas, mon rôle était de **stimuler leurs idées, et d'accompagner leur maturation et mise en œuvre en veillant à la**

rigueur méthodologique. Je les ai ainsi orientées vers des lectures qui me semblaient pertinentes, et vers la définition du « pour quoi » avant celle du « comment ».

Sur le cas d'étude du Saïss, j'ai été à l'origine de la démarche globale, et accompagné Elsa dans sa formalisation (étapes, objectifs, outils et moyens). Dans ce cas d'étude, la méthode et sa mise en œuvre ont été limitées par deux éléments principaux : (1) la difficulté d'accès au terrain, à la fois pour moi (éloignement), et pour Elsa qui était sur place (difficultés de déplacements), et (2) la langue. Cela a clairement limité la participation des parties prenantes au-delà des enquêtes du diagnostic. Ceci a également biaisé la sélection des parties prenantes, invitées aux ateliers par notre partenaire scientifique local (ayant surtout mobilisé ses réseaux). Bien que j'ai préparé en amont les types de compétences, connaissances et structures avec lesquelles nous souhaitions travailler lors des ateliers, je n'ai pas eu la main sur la sélection des participants (au-delà des quelques enquêtes auprès de représentants de ces structures par Elsa et moi) ; le portage local a donc été, dans ce cas d'étude, un facteur limitant de la participation. Une autre difficulté majeure a été la langue, qui a participé à la difficulté de compréhension des indicateurs, dont la signification aurait cependant dû être mieux cadrée par nous en amont. J'en tire trois enseignements principaux : (1) mon accès au terrain pour mobiliser et « comprendre » les enjeux des parties prenantes est une condition nécessaire pour mener mes démarches participatives (même si l'essentiel des travaux de terrain est porté par un.e étudiant.e) ; (2) si je ne partage pas la langue de travail des parties prenantes, il est nécessaire d'être accompagnée par un traducteur de qualité, faute de quoi je n'ai pas accès à la construction, à la logique, et la complexité des discours, même en utilisant des outils qualitatifs comme les cartes cognitives et les grilles de performance.

Lors de la thèse d'Audrey, j'étais principalement mobilisée sur la démarche participative (choix des parties prenantes, enquêtes, mobilisation et rôle), mais également sur son interaction avec la modélisation, qui était construite avec ses deux autres encadrants. Sur ces interactions, j'ai en particulier insisté, et accompagné Audrey sur la prise en compte (simplifiée) de l'échelle de l'exploitation agricole, dont le manque était souligné de manière récurrente par certaines parties prenantes au fur et à mesure des ateliers. Lors de la thèse d'Audrey, l'effet « boîte noire » a été limité par (1) la modélisation conceptuelle réalisée avec les parties prenantes, (2) la réalisation d'une partie de son paramétrage sur des parcelles locales de certains participants, et (3) le maintien dans la démarche des leviers d'adaptation non simulables. Ceci s'est notamment traduit par des questions très précises sur les simulations lors du dernier atelier. J'en tire plusieurs enseignements : **(1) importance de la transparence de la modélisation** (apports des ateliers, limites, incertitudes), **(2) importance d'un enrôlement précoce des participants** (via

des enquêtes précoces), **(3) intérêt de travailler avec deux groupes différents**, notamment pour favoriser la prise de parole et l'expression de la diversité des points de vue ; **(4) intérêt de construire « pas à pas »** (comme dans le cas de Valensole).

Sur le cas d'étude développant un jeu sérieux, j'ai été à l'origine de la définition de son objectif, de son développement et de sa mise en œuvre, sous l'idée initiale de Stéphane de Tourdonnet de faire un jeu « low cost ». J'ai pensé et développé ce jeu pour aider les viticulteurs, et les experts, à se projeter dans les possibilités de modification de pratiques dans des exploitations virtuelles réalistes. La construction du jeu a été faite pas à pas en interaction très forte avec Claire Schneider, que j'ai accompagnée dans tous ses choix, en lui apportant ma connaissance du terrain, mon expertise, et la littérature sur ces méthodes. J'ai ainsi défini la stratégie de recherche, notamment en orientant tous les éléments du jeu, et leur construction, au regard des données acquises et construites par Claire, et de celles mobilisables auprès des partenaires scientifiques et non scientifiques du projet. **Les résultats des ateliers avec les parties prenantes m'incitent à penser que ce type d'outil a une vraie pertinence dans les démarches que je mène.** Certains éléments et modalités de participation nécessitent cependant d'être repensés, en particulier les apports de connaissances via les « panneaux d'information » sur les processus et les leviers mobilisables. Si les versions proposées par les chercheurs spécialistes ont été simplifiées par Claire et moi pour faire ressortir leur message principal, la mise en œuvre du jeu a montré une limite dans leur compréhension et appropriation pour les joueurs. Ceci ne remet pas en cause leur utilité, mais la manière de les construire et de les mobiliser : une possibilité serait d'organiser, au préalable de la session de jeu, un atelier « partage et construction de connaissances » qui, au-delà de l'appropriation par les parties prenantes locales, permettrait de confronter les points de vue sur la pertinence et le réalisme des leviers (comme réalisé par exemple par Della Rossa et al., 2022). Dans cette étude, j'avais à la fois le rôle **de portage scientifique, et d'accompagnement de Claire** dans le développement du jeu, où j'ai par exemple conçu et développé le calculateur multi-échelles. Ce jeu est ainsi inspiré de la littérature, et conçu de manière *ad hoc* pour le territoire et la question. A noter que dans le projet Ripp-Viti, un modèle mécaniste « boîte noire » va aussi être utilisé pour évaluer les stratégies co-construites à l'échelle du bassin versant. Le jeu avait ainsi deux rôles : (1) favoriser la réflexion sur les systèmes conçus, par la quantification immédiate de leurs des impacts potentiels ; (2) faciliter la suite de la démarche, par un premier partage et une première discussion des indicateurs quantifiés, de leur pertinence et de leurs résultats. Ce type d'approche permet une transparence vis-à-vis des parties prenantes (explicitation des rôles, des règles du jeu, simplicité des indicateurs), et présente une vraie force (expression de tous via des choix

individuels présentés au groupe et discutés collectivement) pour **mettre les parties prenantes en situation de réflexion individuelle et collective sur leurs pratiques et leurs évolutions possibles**.

2.4 ANALYSE REFLEXIVE DE MES TRAVAUX

Dans cette partie, je propose une analyse réflexive de mes choix de méthodes et des résultats des cas d'études présentés. Je mobilise le cadre des **« 4P » (Purpose, Processes, Partnerships, Products),** proposé par Gray et al. (2018) pour évaluer les approches de modélisation participative socio-environnementale, pour réfléchir : **(1)** le cadre, **i.e. l'Objectif** (Pour quoi la modélisation participative a-t-elle été utilisée) **; (2) le Processus** (Comment les parties prenantes ont-elles été mobilisées ?, Quelles ont été leurs interactions avec le modèle ?), **(3) le Partenariat** (Qui a participé, et à quelle(s) étape(s) ?) **; (4) les Produits** (Qu'est-ce qui a été produit par le processus de modélisation participative ?). Pour des raisons de simplification, je considèrerais de manière conjointe le Partenariat et le Processus (qui et comment), renommé « Participatif » (§2.4.2). Je présente ces caractéristiques dans leTableau 8.

2.4.1 Place et rôle des outils pour l'évaluation : Objectif

Dans mes travaux, les outils avaient toujours pour **objectifs l'exploration de nouveaux systèmes agricoles, et la quantification de leurs impacts sur des indicateurs variés** (Figure 19). Selon les modèles, toutes les dimensions de la performance n'étaient pas explorées (Tableau 8). Par exemple, avec les modèles mécanistes, les indicateurs étaient spécifiques : production (rendement), et indicateur relatif à la question instruite (eau dans la thèse d'Audrey Naulleau, population pathogène dans ma thèse). Cette approche ciblée a aussi été adoptée dans le jeu sérieux pour concevoir des systèmes permettant de réduire les usages et impacts des pesticides, pour deux raisons : (1) la difficulté de quantifier l'impact de stratégies de gestion phytosanitaire sur le rendement de la vigne et la qualité du raisin (travaux en cours des collègues de l'UMR ABSys dans le projet Ripp-Viti) ; (2) l'imprécision de possibles indicateurs complémentaires (ex. coûts et de temps de travaux), leur ajout risquant ainsi plus de biaiser l'analyse que de l'enrichir. Quand les indicateurs étaient (en partie) définis avec les parties prenantes, ces approches ciblées n'ont pas limité la capacité des parties prenantes à se saisir des résultats, même s'ils ont souligné quelques manques (ex. aspects économiques dans le jeu sérieux). Les indicateurs étaient plus qualitatifs dans les travaux au Maroc, ce qui a permis leur mobilisation par les parties prenantes (pour qualifier les performances des types d'exploitation actuels et possiblement futurs), mais a limité l'analyse (« définition floue » des indicateurs). Dans les études où nous avons utilisé une approche multicritère large (indicateurs environnementaux et socio-économiques en Camargue et à Valensole), les parties prenantes se sont *in fine* focalisés sur quelques-uns seulement (production, marge brute, production alimentaire), valorisant ainsi peu l'aspect multicritère. Mes travaux montrent par contre que

l'approche multi-échelles, considérant l'exploitation agricole dans la conception et l'analyse, est essentielle pour **éclairer les choix des parties prenantes dans le cadre de démarche de modélisation participative**. La plupart de mes travaux ont mobilisé des typologies d'exploitation, construites de manière classique, à partir de bases de données nationales existantes et d'enquêtes auprès des agriculteurs, pour permettre le changement d'échelle vers le territoire. Outre ce rôle numérique pour l'évaluation, j'ai mobilisé ces typologies : (1) pour construire une vision commune du territoire (via leur présentation et discussion en atelier avec les parties prenantes), et (2) pour concevoir les stratégies d'adaptations (réalisées par type d'exploitation). Ceci a, selon moi, contribué au partage de connaissances, avec les parties prenantes régionales (meilleure prise en compte des spécificités des exploitations locales), avec les parties prenantes locales non agriculteurs (caractérisation fine de la diversité des exploitations), et avec les agriculteurs, en leur permettant de se « situer », et également de se « comparer » à d'autres (en termes de systèmes et de performances). La construction des typologies a ainsi, selon moi, permis de faciliter la projection dans des systèmes différents, du fait de la mise en lumière de la diversité des systèmes déjà existants localement.

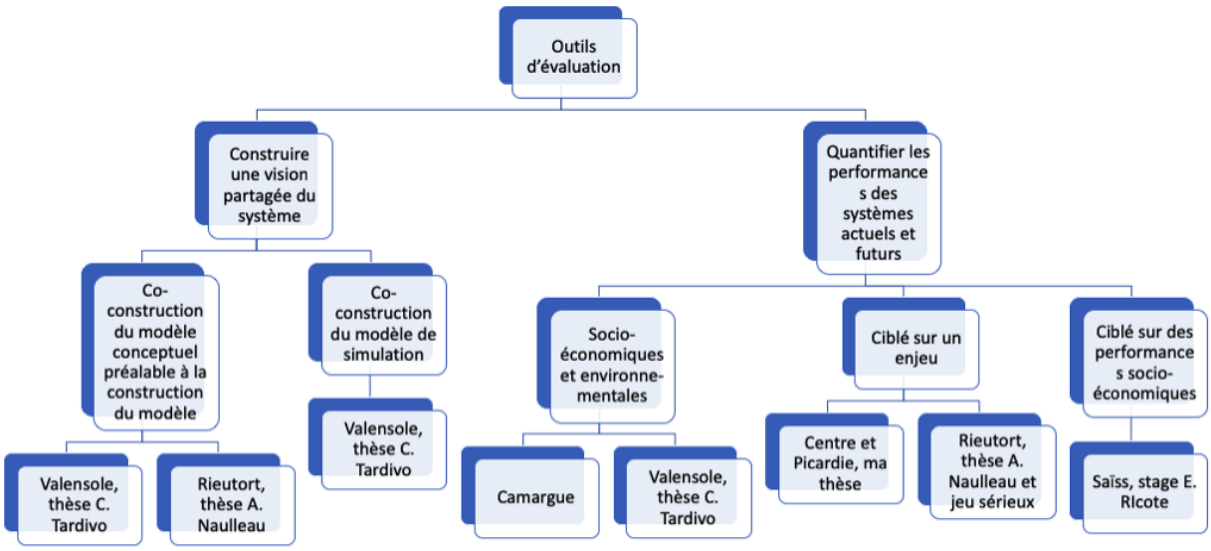


Figure 19. Fonctions des outils d'évaluation mobilisés dans mes travaux.

Dans certaines études, le second objectif était de **construire une vision partagée du territoire** (Valensole), **ou des processus et leviers** (ma thèse, thèse d'Audrey Naulleau). J'ai mobilisé une diversité d'outils d'évaluation dans mes approches de scénarisation. Si certains sont restés, malgré des étapes de la démarche cherchant à les clarifier, des « boîtes » noires, cette caractéristique s'est amoindrie au fur et à mesure de mes travaux. Ceci a pu passer par l'absence de modèle numérique (cartes cognitives au Maroc), ou par la construction du modèle dans la démarche, i.e. pas de mobilisation d'un outil préexistant. Si ceci est au cœur des démarches de modélisation d'accompagnement (cas d'étude Valensole, et plus largement Etienne, 2011), la

construction du modèle conceptuel avec les parties prenantes a également été réalisée dans le cadre de la thèse d'Audrey, qui s'inscrit dans le cadre de la modélisation participative. Ceci m'a permis d'éprouver les atouts de la modélisation participative selon Voinov et Bousquet (2010) : (1) améliorer la connaissance et la compréhension des parties prenantes sur le système étudié et ses dynamiques, et (2) identifier les systèmes innovants, permettant ainsi d'éclairer leurs impacts. Une autre méthode, que j'ai mobilisée dans mes travaux sur les impacts des pesticides sur le bassin du Rieutort, est de construire un outil *ad hoc* permettant de calculer simplement une gamme d'indicateurs pertinents pour l'enjeu étudié. Une étape essentielle est alors de co-construire les indicateurs d'évaluation, étape réalisée dans plusieurs de mes travaux (Valensole, Rieutort). **Ayant observé à la fois les limites dans mes travaux des modèles trop complexes (effet boîte noire), le risque d'imprécision de méthodes purement qualitatives non totalement formalisées, et l'apport potentiellement limité pour les parties prenantes d'approches multicritères larges, je souhaite ainsi m'orienter vers l'utilisation d'outils « au service » du sujet et des parties prenantes. Je souhaite ainsi, pour la suite de mes travaux, m'orienter vers des outils d'évaluation plus ouverts, moins contraignants pour les parties prenantes, et permettant une plus forte interaction avec les parties prenantes du fait d'une plus grande transparence.**

2.4.2 Place et rôle des parties prenantes : Participatif

Dans les travaux présentés, **la plupart des parties prenantes interviennent** à différentes étapes de la démarche de construction et d'évaluation des scénarios alternatifs, **jusqu'à parfois co-diriger** (Valensole) **ou orienter fortement** (deux études sur le Rieutort) le modèle d'évaluation (Partenariat au sens de Gray et al., 2018). Aucun de mes travaux n'a impliqué une manipulation directe du modèle par les parties prenantes, et seul le jeu sérieux, utilisé avec les parties prenantes du bassin versant du Rieutort, a permis une évaluation en temps réel des stratégies conçues. Ce type d'évaluation a été soulignée comme éclairante par les parties prenantes, et me semble à même de stimuler une conception itérative (voir partie §2.4.3).

Les processus participatifs peuvent avoir différents objectifs : expliciter les divergences de points de vue, faciliter un consensus avec la légitimité permise par la participation, et initier un processus d'apprentissage (Rauschmayer et Wittmer, 2006 ; van Asselt Marjolein et Rijkens-Klomp, 2002), en apportant des connaissances valables aux gestionnaires (Varum et Melo, 2010). Dans le cadre de mes travaux, **l'objectif premier était d'expliciter les différents points de vue, à la fois dans les étapes de diagnostic, de conception et de co-évaluation.** Lors de l'étape de la conception, plusieurs scénarios/options du futur étaient construits, pouvant

correspondre à des situations favorisant certaines parties prenantes et certaines filières (ex. en Camargue avec des scénarios favorisant l'élevage (non montré), le bio, ou le riz ; à Valensole favorisant la filière lavandicole ou non) ou leur rôle dans le changement (ex. au Maroc avec la place prépondérante des conseillers dans l'adaptation au changement climatique). Dans les groupes de participants, **la participation de scientifiques dans les démarches participatives** peut apporter une plus-value : l'intégration de connaissances locales et scientifiques peut permettre une meilleure compréhension des systèmes et processus dynamiques complexes (Reed, 2008). Dans les approches de scénarisation en particulier, les scientifiques peuvent apporter leurs connaissances sur les processus importants et leurs liens avec le discours des parties prenantes, qui définissent/enrichissent les discours pour l'élaboration des futurs (Swart et al., 2004). Dans mes travaux, en plus du chercheur-facilitateur, **un ou plusieurs chercheurs avaient, à dessein, ce rôle d'apports de connaissances** : « porteur de système » en Camargue (chercheur spécialiste du bio) ; « défenseur d'une culture » (au Maroc) ; « porteurs de leviers techniques et de connaissances sur les processus » (dans ma thèse, dans les deux études sur le bassin du Rieutort). Cette recherche de décalage a également pris une autre forme dans mes études récentes sur le bassin du Rieutort, avec la mobilisation en deux groupes de parties prenantes plus ou moins distanciées du territoire et de la problématique étudiée. Dans ce cas, l'objectif était de permettre des considérations plus ou moins locales, pour à la fois être pertinent localement, et permettre une certaine forme de généricité sur d'autres territoires, en mettant également en œuvre les conditions de la parole de chacun.

Dans les démarches participatives, **le diagnostic est clé pour éclairer sur le choix des parties prenantes**. Comme présenté plus haut, dans mes études, la participation a été limitée aux parties prenantes agricoles, ou para-agricoles au sens où ils sont directement concernés par les systèmes mis en place (Parc Naturel Régional, Agence de l'Eau). Dans tous mes travaux, cette étape d'identification a bénéficié d'études précédentes sur ces terrains, complétées par des séries d'enquêtes. Au sein de mes travaux, **la place des agriculteurs a beaucoup varié**. S'ils ont été quasi systématiquement mobilisés dans la phase de diagnostic, leur place dans la phase de conception a été plus variée. Dans les ateliers de conception de mes travaux, les agriculteurs mobilisés dans les ateliers de conception avaient souvent une « double casquette » (président de coopérative, responsable de syndicat), parfois explicitée par eux-mêmes « si je parle que pour moi c'est pas pareil ». Ceci peut mettre en lumière des divergences entre les options individuelles et leurs effets collectifs. **La non-participation des agriculteurs aux ateliers de conception a souvent été subie plutôt que décidée par les chercheurs**. Dans le cas de

Valensole, nous avons pallié cette faiblesse en intercalant des enquêtes[36] pour permettre un « retour au terrain ». Ceci a mis en lumière, de manière intéressante, des divergences entre les adaptations pensées par certains agriculteurs, et les adaptations anticipées par les parties prenantes locales (hors agriculteurs) face à des hypothèses de futurs (exemple d'une spécialisation accrue, ou non, selon les points de vue des parties prenantes régionales vs. les agriculteurs). Dans mes derniers travaux (bassin versant du Rieutort), nous avons tenté de pallier cette faiblesse de plusieurs manières : favoriser la participation des agriculteurs via des enquêtes, nous appuyer sur une partie prenante locale reconnue (bien que non forcément consensuel) dans les instances duquel le projet et ses résultats étaient présentés, participer à des journées de formation locales, et, dans le cadre de la thèse d'Audrey Naulleau, confronter les simulations à des mesures de terrain réalisées dans les parcelles des agriculteurs de la zone. **Je souhaite ainsi renforcer la place et le rôle des agriculteurs dans mes futures recherches. Ce choix de renforcement du rôle des agriculteurs au sein de mes démarches a plusieurs raisons : (1) l'agriculteur est le concepteur de ses systèmes** (Chizallet et al., 2019 ; Prost, 2019) **donc sa non-participation à la conception de systèmes présente un biais (réalité du travail) ; (2) les résultats à l'échelle du bassin versant/du territoire sont obtenus par agrégation de systèmes opérés par des exploitations types, rendant cruciale leur bonne description, à la fois pour la situation initiale et pour les futurs possibles ; (3) les changements dans les systèmes seront opérés par les agriculteurs, i.e. passage à l'action.** Même si je présente mes travaux comme une aide à la réflexion et non une aide à la décision, le réalisme et la faisabilité des systèmes conçus sont clés.

[36] Ceci aurait également été particulièrement intéressant dans le cas des travaux au Saïss. La difficulté d'accès au terrain, et de mobilisation des partenaires locaux, n'a pas permis de réaliser ces enquêtes post-phase de conception avec les acteurs régionaux.

Tableau 8. Caractéristiques des méthodes et produits des démarches participatives

Enjeu principal	Territoire	Principaux autres facteurs de changement	Échelle	Outil d'exploration	Types d'indicateurs	Produits co-construits
Adaptation au changement climatique	Camargue	Prix, réglementations, aides publiques, marché, industries locales	Types EA, région	Modèle bioéconomique	Socio-économique, environnemental	Facteurs de changement, scénarios et adaptations
	Valensole	Prix et les coûts, règlementations, assurances	Types EA, zones agroécologiques, territoire	Calculateur	Socio-économique, environnemental	Question, modèle conceptuel et numérique, indicateurs d'évaluation, facteurs de changement, scénarios et adaptations
	Saïss	Politiques publiques, système de conseil, commercialisation	Types EA	Cartes cognitives	Socio-économique	Scénarios et adaptations
	Rieutort	-	Parcelles, zones agroécologiques, bassin versant	Modèle mécaniste	Rendement et consommations en eau (analyse coût-bénéfice simple)	Modèle conceptuel, indicateurs d'évaluation, adaptations
Réduire les usages et impacts des pesticides	Centre, Picardie	Marchés, aides publiques, règlementations	Parcelles, petite région agricole	Modèle semi-mécaniste	Rendement, caractéristiques de la population pathogène	Hypothèses narratives des scénarios, adaptations
	Rieutort	Aides publiques, règlementations	Types EA, bassin versant	Calculateur	Usages et impacts potentiels des pesticides	Critères d'évaluation, leviers du jeu sérieux, stratégies

2.4.3 Sorties des démarches de conception et évaluation participatives : Produits

Les scénarios narratifs (quels futurs ?) constituent un produit transversal à presque tous mes travaux (Tableau 8). Selon la classification proposée par Gray et al. (2018), ces produits, indépendants du modèle, ont permis la construction d'un objet commun par des échanges entre les participants (social). Un deuxième produit transversal porte sur les nouveaux systèmes imaginés dans ces scénarios, et leur évaluation à l'aide d'outils. Ces deux produits participent à la fois de la connaissance scientifique (ex. impact du changement climatique sur l'évolution des systèmes agricoles), et de la connaissance utile, en termes de gestion, pour anticiper de futurs contextes possibles. Il est à noter que **la description de ces nouveaux systèmes était plus ou moins dépendante de l'outil** (ex. dans ma thèse, les modifications se limitaient à ce qui était « modélisable » vs. les systèmes construits dans la thèse d'Audrey Naulleau comportaient des leviers « non simulables »). Ces nouveaux systèmes pouvaient ainsi se limiter à une fréquence de culture sur le territoire et à quelques pratiques choisies (ex. choix variétal, gestion des résidus et fertilisation azotée automnale du colza uniquement dans ma thèse), ou être plus détaillés (rotations, itinéraires techniques, niveaux d'intrants pour Valensole et la Camargue ; travaux du sol, choix des molécules et fréquences d'utilisation dans le jeu sérieux pour le bassin du Rieutort), selon l'échelle de conception (parcelle, bloc de parcelles exploitation type, zones agro-écologiques, territoires). Ces coproduits différaient donc selon l'intensité de la démarche participative, en lien avec la méthode adoptée et ses étapes (ex. préexistence ou non d'un outil de simulation, voir paragraphe suivant), et leur échelle de conception. Les coproduits dépendaient également du projet dans lequel était inclue la démarche participative, de la possibilité de mobiliser les parties prenantes, de l'accès au terrain et de la langue. Par exemple au Maroc, la démarche aurait nécessité au moins un dernier atelier pour revenir sur les adaptations envisagées pour les discuter plus largement et permettre une analyse critique de la résilience supposée.

En plus de ces changements techniques, des changements de type organisationnel ont pu être imaginés : règles d'allocation spatiale et temporelle des cultures (ma thèse) ; partage du matériel (jeu sérieux) ; stratégie de conseil et systèmes d'assurance (Maroc). Il est à noter que, malgré l'approche de scénarisation avec une réflexion sur un pas de temps de 15 ans, les systèmes imaginés n'étaient pas toujours radicalement différents par rapport à l'existant. On peut cependant considérer que des innovations « assez radicales » ont été imaginées dans chacun des processus pour certains scénarios ou certains types d'exploitation : conversion au bio (Camargue, jeu sérieux sur le bassin du Rieutort) ; forte diversification (Maroc, Valensole),

changement de systèmes de conduite[37], d'encépagement et/ou de densités de plantation[38] (thèse A. Naulleau). Les conditions de réalisation de ces changements (dont leur faisabilité) étaient explicitées, ce qui ajoute de la crédibilité aux changements imaginés, mais cette étape restait parfois fruste. **Pour favoriser des idées plus en rupture et des changements radicaux, je souhaite mobiliser des méthodes de créativité dans mes futures recherches.**

Un troisième produit porte sur les outils co-construits (**modèle conceptuel, modèle numérique**), qui ont permis un partage de représentations et de connaissances entre les participants, sur le système, les leviers d'adaptation, et leurs conséquences potentielles. Si ceux-ci n'ont pas été présents dans tous mes travaux, j'estime que c'est **une étape essentielle de partage de représentations avec les parties prenantes. Je souhaite donc systématiser ce type d'outil dans mes futurs travaux.** Ces outils participent à la fois de la connaissance scientifique, et de la connaissance utile pour les parties prenantes, les modèles permettant une formalisation du système potentiellement utile à la fois aux chercheurs et aux parties prenantes.

Un dernier élément, qui n'est pas un produit mais a été souligné dans toutes les études, est la **place centrale des échanges entre parties prenantes dans ces processus**. Les parties prenantes soulignent les ateliers comme « un lieu pour parler entre nous », « des échanges avec des personnes d'horizons professionnels différents », et « le temps pour la réflexion ». L'organisation (dont le choix des parties prenantes) et la facilitation des ateliers sont clés pour permettre ces échanges, ce qui nécessite une connaissance fine du territoire, de ses enjeux et de ses parties prenantes, et m'a amenée à mettre en œuvre différents dispositifs (ex. groupes selon leur échelle d'action) et différents outils pour supporter ces échanges (modélisation conceptuelle, rôles dans le jeu, grille de consensus, cartographie participative). Si ces modalités sont à adapter au cas par cas, mes travaux m'ont montré l'utilité d'outils supports pour favoriser les échanges en collectif, et d'inclure dans la démarche des parties prenantes de différents horizons, travaillant sur des enjeux différents, présentant des rayons d'action différents, et porteurs de connaissances complémentaires. L'importance du collectif dans la réflexion et la mise en œuvre du changement a déjà été mise en lumière, par exemple lors de leur transition vers une agriculture plus durable (Slimi et al., 2021). **Je souhaite donc maintenir ces démarches avec des collectifs hétérogènes de parties prenantes (agricoles et environnementales), en mobilisant des outils *ad hoc* pour faciliter les échanges.**

[37] Les systèmes de conduite en vigne déterminent l'architecture du cep et du vignoble, et peut ainsi limiter la mécanisation de la vendange.

[38] La densité est vue ici comme un changement radical car les faibles densités de plantation impliquées dans ces stratégies sont aujourd'hui interdites par les cahiers des charges des AOP.

Deux aspects (entre autres) sont totalement absents de mes travaux : l'implémentation des stratégies conçues (Andrieu et al., 2019 ; Prost et al., 2018), l'aide à la décision, avec ainsi une distance plus forte au terrain et au réel que dans des plateformes d'innovation[39] par exemple (telles que mises en œuvre par Andrieu et al., 2019 par exemple). Ceci est dû d'une part à la nature exploratoire de la plupart de mes travaux (les systèmes imaginés correspondant à ceux où le contexte aurait changé), et d'autre part aux échelles agrégées étudiées (type d'exploitation, paysage), toutes les deux renforçant l'importance d'outils pour l'exploration et l'évaluation. Mes travaux se placent ainsi davantage dans la catégorie de l'« accompagnement à la conception », que dans la conception, telles que distinguées par Le Gal et al. (2011). **Cependant, sans aller jusqu'à l'implémentation, difficile pour les raisons évoquées plus haut, accompagner les parties prenantes à se projeter dans l'implémentation permettrait de mieux formaliser la faisabilité des changements, et la transition pour y parvenir. Je souhaite avancer sur ces deux aspects dans mes futures recherches.**

[39] Kilelu et al. (2013) définissent une plateforme d'innovation comme « une configuration multi-acteurs mise en place pour faciliter et entreprendre diverses activités autour des défis et des opportunités d'innovation agricole identifiés, à différents niveaux des systèmes agricoles (par exemple, village, pays, secteur ; chaîne de valeur) ».

3 Projet de recherche

3.1 INTRODUCTION

Mon projet de recherche se construit logiquement dans la continuité de mes travaux précédents, et est marqué par plusieurs inflexions fortes, qui me semblent nécessaires au vu des limites et biais identifiés dans mes recherches passées : (1) favoriser la **créativité** pour concevoir des options de changement plus en rupture et plus collectives (étape de conception), notamment en articulant mieux les étapes de création de connaissances au sein du processus participatif (y compris pour la phase de diagnostic pour mieux comprendre la décision et son rapport à l'action) ; (2) caractériser davantage les changements de systèmes en termes de **capacités d'adaptation** des agriculteurs et autres parties prenantes agricoles, leur rôle pour la **résilience**, et la manière dont elles peuvent être mobilisées pour la **transition** (en m'intéressant en particulier aux expériences de transition agroécologique, avec l'analyse de leurs difficultés et des apprentissages générés) ; (3) développer/mobiliser des **outils favorisant les interactions** entre parties prenantes, et entre parties prenantes et outils. Plus généralement, je souhaite intégrer la transition dans les approches de scénarisation, en m'éloignant parfois de l'approche scénario pour l'enrichir, en particulier sur la compréhension et l'analyse des transitions.

L'ensemble de mon projet s'inscrit dans les orientations scientifiques INRAE « **Répondre aux enjeux environnementaux et gérer les risques associés** » (par les enjeux que j'aborde – changement climatique et réduction des impacts des pesticides –, et par mes objets – capacités d'adaptation et résilience –) et « **Accélérer les transitions agro-écologiques et alimentaires, en tenant compte des enjeux économiques et sociaux** » (via la créativité permettant la conception de systèmes plus en rupture, dont agro-écologiques, et le développement d'outils favorisant cette conception). Au sein du département ACT, mes travaux contribuent au GOS[40] 2 « **Comprendre et accompagner les transitions agroécologiques** », par mes travaux à venir sur la caractérisation de ces transitions, et visant à accompagner la conception de systèmes innovants résilients, en caractérisant en particulier les étapes de la transition, les risques associés et les moyens d'y faire face.

3.1.1 1ère inflexion : favoriser la créativité des parties prenantes dans la conception de systèmes agricoles innovants

De récentes avancées méthodologiques en agronomie systémique, notamment en lien avec les sciences de la conception, ont émergé ces dernières années. J'en cite deux ici, qui me semblent pouvoir m'aider à ouvrir le champ des possibles lors de la conception avec des parties prenantes. La première est la **traque aux innovations**, formalisée par Salembier et al. (2016, 2021), dont

[40] Grand Objectif Scientifique

l'objectif est de découvrir et de caractériser des pratiques « différentes »[41], prometteuses et innovantes, face à un problème ou un enjeu. Cette méthode peut participer au processus de conception de différentes manières, conceptualisées par Salembier et al. (2021)[42] en fonctions génératives[43] : décaler les perceptions (d'une technique, d'un système, d'un objectif), identifier et interroger des mécanismes systémiques (pourquoi tel impact est-il observé, est-ce toujours le cas ?), faire circuler des concepts d'innovation (ex. pratique, système, organisation innovants). Par exemple, Périnelle et al. (2021) ont mobilisé la traque aux innovations dans une démarche de conception de systèmes de culture incluant des légumineuses. La traque a permis d'identifier les systèmes de culture innovants, qui ont été mis en débat et modifiés avec les agriculteurs locaux, puis mis en œuvre dans des essais de prototypage dans une démarche de co-évaluation. Plus généralement, les traques mises en œuvre ont permis de construire des ressources cognitives pour accompagner la conception des agriculteurs (ex. Casagrande et al., 2017 ; Salembier et al., 2016 ; Verret et al., 2020). Quinio et al. (2022) définissent les ressources cognitives comme « des ressources structurées par les connaissances (i.e., cartes cognitives, diagrammes ou tableaux structurant les connaissances) ». Les systèmes identifiés et caractérisés par la traque aux innovations alimentent ainsi les connaissances dans les processus de conception participative de systèmes innovants, participant d'une « bibliothèque de situations innovantes » pour appuyer la conception (Meynard, 2012). La traque permet également de comprendre les pratiques alternatives, leurs raisons de mise en œuvre par les agriculteurs, et la manière dont ceux-ci les jugent (Salembier et al., 2021). L'évaluation de ces pratiques par ceux qui les mettent en œuvre fait en effet appel à des indicateurs d'évaluation qui leurs sont propres (Catalogna et al., 2018) et leur permette de concevoir leurs changements de pratiques (Toffolini et al., 2017).

La seconde méthode cherche à **ouvrir le champ des possibles : la méthode KCP** (pour Knowledge Concepts Proposals), basée sur la théorie CK (Hatchuel et Weil, 2009), vise à soutenir les processus de conception collective vers des innovation radicales (Berthet et al., 2016, 2020). Cette méthode de créativité collective (Hatchuel et al., 2009) vise en particulier à partager les connaissances et identifier les trous de connaissances (ex. connaissances à produire

[41] Dans la phase de diagnostic des travaux montrés précédemment, nous avons pu identifier de telles pratiques. Cependant : (1) nous sommes tombés dessus « par hasard » ; (2) leur niveau de formalisation ne permettait pas de clarifier leur contenu agronomique, et limitait ainsi leur rôle dans la conception ; (3) le niveau d'information acquis sur ces pratiques ne nous permettait pas toujours de les inclure complètement pour l'étape d'évaluation.

[42] Cette liste est non exhaustive, d'autres fonctions sont détaillées dans l'article.

[43] La générativité est définie par Hatchuel et al. (2011) comme « la capacité à produire des propositions de conception différentes des solutions et des normes de conception existantes ».

pour favoriser un changement technique, Leclère et al., 2018), et à explorer de nouveaux concepts (Berthet et al., 2016), en veillant à l'acceptation collective et la légitimité du processus d'exploration (Hatchuel et al., 2009). A INRAE, le collectif IDEAS[44] s'est structuré autour de la conception innovante pour la transition agroécologique des systèmes agri-alimentaires, les méthodes de traque et KCP faisant partie des outils mobilisés.

3.1.2 2ème inflexion : caractériser les capacités d'adaptation des exploitations agricoles pour les intégrer dans la scénarisation

La construction de scénarios, au sens d'Alcamo et Henrichs (2008), inclut, en théorie, la description (pas à pas) de l'évolution du système sous l'influence des facteurs de changement et de leurs interactions, cette évolution pouvant être linéaire ou marquée par des ruptures (van Notten, 2005). Cependant, la plupart des études de scénarisation (dont les miennes), « projettent » des futurs, comparés à la situation actuelle, sans expliciter les étapes du changement. Je pense que s'intéresser à cette **transition** est indispensable pour favoriser le changement de pratiques, notamment en réfléchissant aux étapes nécessaires pour passer de l'état actuel à l'état visé (qui pourrait changer au cours du processus, i.e. l'état final diffèrerait de l'état visé initialement), aux risques pris par le changement de système, et aux moyens d'y faire face. S'il est nécessaire de caractériser les étapes nécessaires à ces transitions, il faut également considérer, dans la conception, les chocs (ex. inondation) et changements tendanciels (ex. augmentation tendancielle des températures) futurs qui pourraient limiter/mettre en péril ces transitions futures. La construction pas à pas des performances des nouveaux systèmes dépend en effet des stratégies mises en place par les agriculteurs pour tamponner les effets de ces chocs, s'y adapter ou de se transformer pour y faire face. Ceci met au cœur la **résilience** (Walker et al., 2004) des situations agricoles, i.e. la capacité des exploitations, en interaction avec leur socio-écosystème (Darnhofer et al., 2010) à s'adapter/se transformer dans des situations de fortes incertitudes et de chocs brutaux. Ces situations appellent ainsi à davantage prendre en compte les chocs possibles afin de co-concevoir des systèmes plus résilients, y compris face à des chocs imprévisibles (Darnhofer, 2021), ce qui implique une évolution des démarches actuelles de scénarisation. En effet, les démarches actuelles de scénarisation considèrent en général des tendances de changement (représentés par les drivers du changement), mais peu des chocs. Un enjeu pour la scénarisation est alors de les combiner, à la fois dans les scénarios narratifs, et dans leur évaluation numérique. Plusieurs éléments devront alors être explicités : (1) **les chocs à intégrer** (fréquence, intensité), (2) **leurs liens avec les**

[44] Initiative for Design in Agrifood Systems

tendances (ex. la tendance du changement climatique, et le choc de températures extrêmes ou des inondations), **(3) les adaptations conçues** et le chemin de transition pour s'adapter aux tendances en intégrant les chocs, et **(4) la manière d'intégrer l'évaluation des chocs avec l'évaluation des tendances** (co-définition des indicateurs, y compris dans leurs dimensions temporelles et spatiales). Pour concevoir et évaluer les adaptations possibles et les chemins de transitions, il me semble utile de faire un pas de côté par rapport à mes méthodes de scénarisation, en m'intéressant en particulier (1) aux expériences de transition des agriculteurs : pourquoi, comment, pour/via quels apprentissages, avec quelles informations ? (Chantre et al., 2014, 2015 ; Chantre et Cardona, 2014) ; (2) à l'explicitation dans la phase de diagnostic la manière dont les agriculteurs décident, en regardant en particulier les connaissances et les informations qu'ils mobilisent.

Plus largement van der Lee et al. (2022) soulignent cinq éléments clés à caractériser pour évaluer la résilience, dont la prise en compte des différents facteurs contribuant à la résilience[45]. Ces facteurs de résilience des systèmes agricoles se jouent également dans leurs interactions à d'autres systèmes couvrant plusieurs échelles spatiales et comprenant des domaines agroécologiques, économiques et politico-sociaux (Darnhofer et al., 2010), ces différents systèmes pouvant être abordés dans les approches de scénarisation. Ces interactions peuvent faciliter ou limiter la capacité de changement et d'adaptation des exploitations agricoles : il devient alors nécessaire de clarifier les relations (potentiellement instables) au sein des systèmes agricoles, mais également entre ces systèmes et leurs contextes (Darnhofer, 2021). Les modèles conceptuels (type cartes cognitives) peuvent faciliter cette clarification, comme j'ai tenté de le faire dans le cas d'étude au Maroc (§2.3.4), s'ils intègrent également les relations entre exploitations, et leurs dynamiques face à des chocs.

3.1.3 3ème inflexion : des outils favorisant les interactions entre parties prenantes, et entre parties prenantes et outils

J'ai pu constater à la fois la difficulté d'usage de modèles complexes préexistants au sein de démarches participatives, et à l'inverse, les apports des modèles co-construits et des modèles « simples ». Je souhaite me tourner vers ces derniers, en privilégiant deux types d'outils : les jeux sérieux, et les modèles multi-agents. J'ai déjà présenté plus haut les atouts des jeux sérieux (§2.3.6 et §2.3.7.2), je me focalise donc ici sur les modèles multi-agents. Les modèles multi-agents représentent les systèmes avec des agents interagissant et utilisant des ressources

[45] Les quatre autres éléments clés sont : les caractéristiques du système considéré, les perturbations (chocs), le type de résilience et les résultats permis par la résilience

environnementales, chaque agent ayant ses propres règles et/ou objectifs (Bousquet et Le Page, 2004 ; Ferber, 2006). Les agents peuvent être humains (ex. agriculteur), ou biophysiques (animaux, ressources abiotiques). Leur comportement peut être représenté à plusieurs échelles (parcelle, exploitation, territoire). Cette approche a été développée pour **étudier la dynamique des systèmes complexes, notamment pour explorer des phénomènes qui émergent des interactions entre comportements individuels.** Ces modèles permettent ainsi d'étudier l'interaction entre des ressources (ex. eau) et les décisions des agents. Ces modèles sont largement utilisés dans la modélisation d'accompagnement (Voinov et Bousquet, 2010), dans laquelle ils sont co-construits. Cette co-construction permet d'inclure leurs préoccupations, et de favoriser la compréhension des acteurs du système et de sa représentation dans le modèle (Barnaud et al., 2008). Ainsi Duru et al. (2015c) ont souligné la pertinence de ce type de modèle comme outil d'exploration dans des démarches de conception participative de systèmes agroécologiques, du fait notamment de leur spatialisation explicite. Dans ce type de modèle, la représentation de la décision des agents est clé. Huber et al. (2018) définissent trois propriétés clés : (1) l'importance des activités non-agricoles des agriculteurs ; (2) les caractéristiques hétérogènes des exploitations ; et (3) la nécessité de considérer les décisions, possiblement concurrentes, à court et à long termes**. La modélisation multi-agent** a par exemple été utilisée pour étudier les capacités d'adaptation et la résilience d'agriculteurs en Ethiopie (Hailegiorgis et al., 2018), ou pour étudier l'effet du changement climatique et de la variabilité des prix sur la structure des exploitations en Iran (Mansoori et al., 2021). **Ce type de modélisation permet ainsi de simuler les effets de chocs et de tendances de long terme**, à l'échelle des exploitations et du paysage, sous réserve de la possibilité de décrire les décisions et leur contexte (dont prix, règlementations). Là aussi, les méthodes de scénarisation peuvent être pertinentes, en particulier pour imaginer les changements de contextes à moyen et long termes (Mansoori et al., 2021). Les modèles multi-agents peuvent être utilisés dans le cadre de jeux sérieux, pour informer les décisions des agents, permettre le partage des représentations et des connaissances entre parties prenantes, et explorer des scénarios de changement (Wimolsakcharoen et al., 2021). A noter que la combinaison de jeux sérieux et de modèles multi-agents pour étudier les questions de l'adaptation au changement climatique ou de la réduction des usages ou impacts des pesticides a jusqu'à présent été peu investiguée[46]. Les

[46] Selon des requêtes réalisées le05/03/2022 pat mots clés sur Clarivate Analytics' Web of Science : 7 résultats pour l'équation de recherche « agent based model* and (pesticid* or inputs) and agricultur* and gam* » ; et 6 résultats pour l'équation agent based model* and climate chang* and agricultur* and gam*)" (https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/2a4d525d-1130-4010-a548-44f540721837-

modèles multi-agents me semblent ainsi à même de pallier certaines des difficultés que j'ai jusqu'alors rencontrées avec les outils de simulations : (1) ils permettent une plus forte interaction avec les parties prenantes (en particulier les agriculteurs) ; (2) ils sont orientés vers le terrain ; (3) ils se basent en général sur une co-construction du modèle (conceptuel, voire numérique) et des indicateurs d'évaluation, évitant ainsi l'effet boîte noire des modèles trop complexes. De plus, ils permettent une évaluation multi-échelle et multicritère, et me semblent à même d'être des outils utiles pour concevoir des transitions.

3.1.4 Problématique

Je souhaite continuer à travailler sur les enjeux de l'adaptation au changement climatique et de l'adaptation pour réduire les usages et impacts des pesticides (avec une inflexion vers l'agroécologie). Outre le fait que ces enjeux restent d'actualité, ils impliquent des horizons de réflexion différents, interrogeant donc de manière différenciée les alternatives, et me permettent ainsi de mettre à l'épreuve mes méthodes de conception-évaluation participative. Je souhaite également continuer à considérer dans mes recherches les échelles de l'exploitation agricole et du territoire agricole. Je souhaite enfin renforcer la place des agriculteurs dans mes démarches, mais également continuer à travailler avec une diversité de parties prenantes agricoles, pour favoriser les échanges de connaissances, d'enjeux, et idées d'alternatives. Sous les inflexions présentées ci-dessous, ma problématique de recherche peut être reformulée ainsi (les modifications par rapport à ma problématique de recherche initiale (voir §2.2.4) sont indiquées en italique) :

Quelles démarches de conception-évaluation pour accompagner les parties prenantes locales dans l'émergence de futurs systèmes agricoles acceptables, *créatifs, résilients* aux enjeux locaux et globaux, *intégrant la transition*, et *construits à partir d'outils transparents favorisant le partage des représentations* ?

3.2 DEMARCHE DE RECHERCHE

Ma démarche de recherche vise à concevoir des systèmes agricoles à plusieurs échelles, et à évaluer ces systèmes de manière multicritère. L'évolution des systèmes agricoles étant intrinsèquement locale, car liée à un contexte territorial (pédoclimatique, mais également en termes de contraintes et d'opportunités, par exemple de filière, règlementaire, etc.), mes recherches ne cherchent pas une solution « idéale », mais bien à concevoir des futurs possibles. Dans ce sens, je cherche à concevoir une diversité de futurs, chacun étant composé d'une

27e1dc29/relevance/1 et https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/e43464bd-9531-45f7-bdf6-35b01d881f41-27e0ce5a/relevance/1, respectivement)

diversité de systèmes agricoles selon les situations initiales et leurs évolutions, comme suggéré par Meynard et al. (2012).

3.2.1 Connaissances pour la conception

Duru et al. (2015b) soulignent que les systèmes complexes, agroécologiques ou très biodiversifiés, sont intensifs en savoirs et savoir-faire, pour leur réflexion, leur implémentation et leur gestion, et que leur conception requiert d'intégrer les connaissances des scientifiques et des parties prenantes (Duru et al., 2015a). Ceci pose plusieurs questions : Quelles connaissances sont nécessaires ? Comment les acquérir ? Comment les mobiliser dans des démarches de conception-évaluation ?

Dans mes futurs travaux de recherche, comme souligné plus haut, je souhaite **aller vers des démarches pour et par les parties prenantes**. Ceci requiert une construction des connaissances selon les besoins identifiés lors de la démarche de conception, par exemple pour identifier des thèmes de traque (si cette méthode permet d'accéder aux connaissances manquantes). La méthode KCP permet aussi d'identifier les connaissances manquantes, ou à creuser, lors d'une démarche de conception évaluation. Je ne compte pas devenir une « experte » de ces méthodes, ni prétendre les faire évoluer conceptuellement. Mon originalité sera plutôt (1) dans leur mobilisation, i.e. leur rôles et places dans des démarches de conception-évaluation de systèmes agricoles résilients à plusieurs échelles, (2) pour concevoir des systèmes plus en rupture. Je souhaite en effet creuser trois questions en particulier : (1) comment articuler ces méthodes et l'utilisation/la formalisation de leurs résultats (ex. systèmes innovants identifiés par la traque) dans des démarches de conception-évaluation ? ; (2) comment intégrer ces résultats dans l'évaluation numérique ? ; (3) quels apports pour les parties prenantes ? Cash et al. (2003) soulignent en effet la nécessité d'estimer, au fur et à mesure, la crédibilité, la pertinence, et la légitimité des connaissances et informations produites.

Concernant la mise en œuvre de la traque, de la méthode KCP, et la réflexion sur leurs articulations et formalisations dans les démarches de conception, j'ai récemment suivi l'école chercheur « Conception Innovante », organisée par le réseau IDEAS. Je souhaite maintenant me rapprocher des membres de ce réseau, en participant à leurs animations bimestrielles, mais également en mettant en œuvre des collaborations dans le cadre de co-encadrement de stagiaires et/ou doctorant.e.s avec ces experts de la conception innovante (voir §3.3). Concernant le lien à l'évaluation, cela interroge la formalisation des performances des options et systèmes innovants. Pour la question de la réduction des pesticides, les méthodes de formalisation des systèmes traqués proposés par Salembier et al. (2016, 2021) seront utilisées. Pour la question

du changement climatique, j'aimerais explorer l'intérêt des « analogues » climatiques (Kopf et al., 2008), qui permettent à la fois d'identifier les systèmes innovants, et de quantifier certaines de leurs performances. Pour les apports aux parties prenantes, cela questionne la capacité de ces démarches à permettre le partage des visions et des connaissances entre parties prenantes, et à favoriser les apprentissages. Ceci requiert à la fois une analyse réflexive au cours des démarches, plus ou moins mise en place dans mes travaux précédents, notamment lors de l'approche de modélisation d'accompagnement, mais également un suivi spécifique des connaissances et de leurs transformations par les parties prenantes au cours de la démarche (relecture critique des apports aux parties prenantes).

3.2.2 Outils d'exploration pour concevoir des adaptations à différents horizons de temps

Je présente ici l'approche que je souhaite développer pour les inflexions 2 et 3 présentées ci-avant (capacités d'adaptation et outils au service des parties prenantes).

Mes thématiques de recherche vont m'amener à mener des démarches exploratoires (scénarios d'adaptation au changement climatique), et/ou à plus court terme (stratégies pour réduire les usages et impacts des pesticides). Comme mentionné plus haut, je parle de stratégie lorsque l'on ne considère pas de facteurs de changement exogènes comme dans un scénario, i.e. une stratégie est un ensemble de mesures/solutions cohérentes applicables à court terme. Un enjeu est de combiner les deux horizons temporels, pour concevoir des transitions, au sens de la cible à atteindre, et du chemin pour y parvenir. Comme présenté plus haut, les modèles multi-agents combinés à des jeux de rôle me semblent être des outils très prometteurs pour étudier à la fois les effets des tendances (scénarios) et des chocs (court-terme) sur la décision des agriculteurs et des autres parties prenantes des systèmes agricoles, et leurs impacts en termes d'évolution des systèmes et de leurs performances, notamment en termes de résilience. J'identifie trois étapes principales pour ce type de démarche : (1) définition avec les parties prenantes du périmètre de la question à traiter et de la représentation du système (ex. Valensole) ; (2) définition des tendances et chocs (approche scénarisation) ; (3) formalisation de la diversité des décisions face à ces tendances et ces chocs, notamment grâce aux jeux sérieux (Figure 20). Pour cela, deux étapes me semblent essentielles : (1) me former (des formations à la modélisation multi-agents sont proposés par le collectif Commod, et plusieurs universités) ; (2) travailler avec des experts de cette méthode, par exemple Christophe Le Page (CIRAD UMR Sens) avec lequel j'ai déjà collaboré dans le cadre de la thèse de Caroline Tardivo.

Ces méthodes, reposant sur des simulations interactives, permettent de mobiliser plus fortement les agriculteurs, comme je l'ai notamment vu avec le jeu sérieux développé sur le bassin du

Rieutort. Ils peuvent également permettre des projections des parties prenantes à court et moyen termes, participant ainsi à la réflexion sur les transitions, et sur ce qui les favorise et les limite. Je souhaite favoriser une évaluation multicritère (non nécessairement large, et adaptée selon les territoires et questions) en y enjoignant un caractère dynamique à travers la résilience (résistance aux chocs et capacité d'adaptation), et multi-échelle, en réfléchissant non seulement avec les parties prenantes sur leurs propres changements de systèmes, mais également **(1) aux conséquences de ces changements à l'échelle du territoire, et (2) aux leviers collectifs susceptibles de favoriser des changements de systèmes**. Ce caractère collectif a souvent été abstrait dans mes travaux précédents, et je souhaite renforcer sa formalisation avec les parties prenantes : « comment faire ensemble pour … ? ». La méthode KCP et les approches de Modélisation d'Accompagnement peuvent m'aider à aborder ces nouvelles questions, en particulier pour (1) la co-définition de la problématique, et (2) l'articulation individuel/collectif (ex. Berthet et al., 2016).

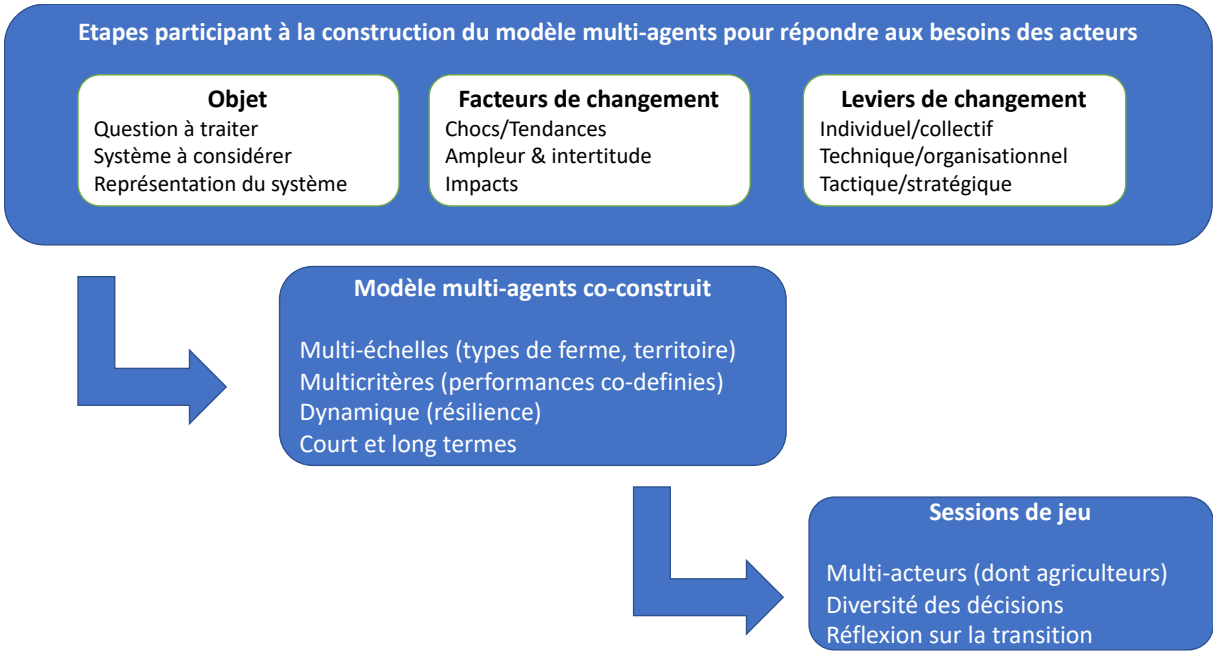


Figure 20. Étapes proposées pour la construction et la mobilisation d'un modèle multi-agent adapté au territoire et au service de la réflexion des parties prenantes pour concevoir des systèmes agricoles résilients.

3.3 PROJETS AU SERVICE DE LA RECHERCHE

Je présente ma stratégie en deux temps : les projets initiés ou prévus à court terme en 1ère partie, les recherches que je souhaiterai impulser à plus long terme en 2ème partie.

3.3.1 Actions à court et moyen termes

Créativité, connaissances et conception

Dans le cadre du projet Biodiversify[47], projet dans lequel je suis responsable du WP sur la co-conception et la co-évaluation des systèmes de culture traditionnels et très diversifiés, j'organise **deux traques aux systèmes diversifiés à base de pérennes** dans le sud de la France : (1) sur les systèmes à base d'oliviers, avec Stéphane de Tourdonnet (stage 2022) ; (2) sur les systèmes viticoles, avec Aurélie Metay et Raphaël Métral (stage prévu)[48]. J'ai également contacté des spécialistes de la traque aux innovations pour ces projets. L'objectif de ces traques est d'ouvrir le champ des possibles lors de l'étape de conception avec les parties prenantes, qui se place (1) pour le cas des oliviers, dans le cadre de la thèse de Nicolas Barbault portant sur la modélisation mécaniste des systèmes agro-forestiers, à l'échelle de la parcelle ; (2) pour le cas de la vigne, en interaction avec les expérimentations de systèmes très diversifiés menés par l'Institut Agro Montpellier, et avec l'objectif d'évaluer les systèmes avec l'outil Dexi-Vigne (Gary et al., 2015). Si les possibilités de ces outils limitent les types de systèmes évaluables, l'objectif est que les traques ne s'y limitent pas, et au contraire permettent d'ouvrir le champ des possibles pour les outils d'évaluation. Dans les deux cas, l'objectif est de formaliser les systèmes innovants trouvés sur le terrain pour favoriser la créativité des agriculteurs et conseillers techniques (Chambre d'Agriculture, Instituts Techniques) dans la conception de systèmes diversifiés. L'échelle privilégiée est la parcelle, mais, au travers des ressources mobilisées (travail, machines), l'échelle de l'exploitation sera abordée pour expliciter la faisabilité des systèmes très diversifiés.

Dans le cadre du projet Be-Creative[49], où je co-coordonne le WP « Créer : imaginer des territoires dans pesticide avec les acteurs » avec Marc Moraine (UMR Innovation) et Lorène Prost (UMR SADAPT), deux actions vont me permettre d'avancer sur la question des connaissances au sein des démarches de conception. Tout d'abord, je coordonne avec Violaine Deytieux (UE Époisses) la tâche « Identifier, produire et rassembler les connaissances utiles et

[47] Boost ecosystem services through high Biodiversity-based Mediterranean Farming Systems.

[48] A noter que des traques sur les systèmes viticoles, portés par des collègues INRAE, sont déjà en cours/prévues : (1) sur les systèmes très en rupture (faible utilisation de pesticides), porté par A. Mérot (UMR ABSys), et (2) sur les alternatives au glyphosate par C. Salembier (UMR Sadapt) et M. Thiollet Scholtus (UMR LAE).

[49] Build Pesticide-free Agroecosystems at territory level

mouvantes pour la créativité dans les territoires ». Ceci va me permettre d'avancer sur deux points de mon projet : (1) **le rôle et la place de la traque** au sein des démarches de conception (en interaction forte avec Maude Quinio et Marie-Hélène Jeuffroy (UMR Agronomie) et Jean-Marc Meynard et Chloé Salembier (UMR SADAPT)) ; (2) **la formalisation des connaissances** au service des démarches de conception, en m'appuyant en particulier sur des travaux récents (ex. Quinio et al., 2022).

La deuxième action porte sur une thèse que je souhaite proposer[50], en collaboration avec Marie Thiollet-Scholtus (UMR LAE) et Servane Penvern (UMR Innovation). Ce sujet part d'une problématique de terrain, clairement identifiée dans le cadre du projet Ripp-Viti : la difficulté de mise en place de stratégies viticoles à faibles doses de fongicides, et la non-adéquation des informations climatiques pour éclairer la décision. L'objectif serait ici de construire des connaissances utiles à la conception de nouvelles stratégies à plusieurs échelles : (1) quels sont les déterminants des décisions de traitement ? ; (2) quels services climatiques favoriseraient des stratégies économes (i.e., 1er traitement plus tardif, cadence plus lâche) ? ; (3) comment combiner ces informations à d'autres leviers d'adaptation ? (Figure 21) Pour la 1ère étape, je souhaiterais aller plus loin que les étapes classiques (enquêtes, bibliographie) pour caractériser les **stratégies et les décisions des viticulteurs** ; ceci pourrait passer par un diagnostic des usages (ex. Ravier et al., 2016) des services climatiques et des outils d'aide à la décision, et par une description fine des situations (quels indicateurs sont utilisés ? sur une/plusieurs parcelles ?), en s'inspirant notamment de la méthode mise en œuvre par Clémence Bénézet dans sa thèse (voir ci-dessous). Pour la seconde étape, l'objectif est d'identifier avec des collectifs d'agriculteurs, à partir de la formalisation des connaissances de l'étape 1, les caractéristiques des services climatiques à même d'éclairer leurs décisions de traitement (quelle information, quand, à quel endroit). Ceci permettrait de concevoir un dispositif (climatique, mais peut-être aussi de surveillance, y compris collectif) et ses conditions de mises en œuvre. La troisième et dernière étape serait de **ré-ouvrir le champ des possibles pour concevoir des stratégies combinant ces services climatiques à d'autres leviers permettant de réduire l'usage des fongicides en viticulture** (ex. gestion du feuillage, écartement, cépages résistants), en mobilisant la méthode KCP avec l'appui des chercheurs confirmés en conception innovante. Ce travail est en lien direct avec des travaux en cours de collègues du collectif Actina de l'UMR Innovation que j'anime avec N. Andrieu, en particulier une thèse en cours, portée par N. Andrieu et G. Bruelle. Cette thèse porte en effet sur l'utilisation d'informations agroclimatiques

[50] Demie bourse de thèse acquise financée par le projet Be-Creative

pour soutenir la transition agroécologique des agriculteurs au Zimbabwe. Bien que le cadre d'étude diffère entre les deux travaux, leur analyse transversale (conception de systèmes agricoles innovants intégrant des services climatiques *ad hoc*) nous permettra une montée en connaissances sur cette question. L'objectif sera alors, en m'appuyant également sur le groupe CLIMAT de l'UMR Innovation que je co-anime avec N. Andrieu et N. Graveline, de construire des projets interdisciplinaires (*a minima* agronomie et économie) autour la thématique de la nature et du rôle des informations agroclimatiques dans la transition agroécologique des exploitations, avec des applications et des réflexions Nord et Sud. Comment ces informations participent-elles à la transition ? Avec quels autres changements dans le système ? Sous quelles conditions ? Le type d'appel à projet sera en partie déterminé par les pays, ex. PRIMA pour la zone Méditerranéenne.

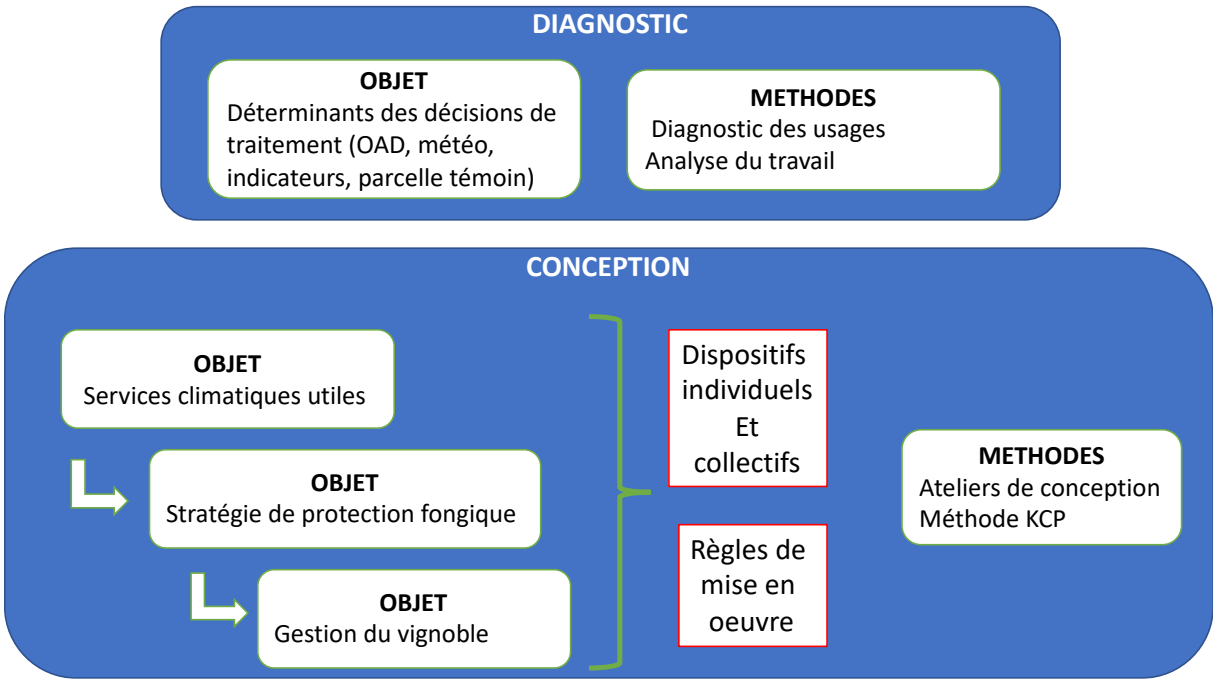


Figure 21. Méthodes proposées pour stimuler la conception de stratégies viticoles à faibles usages de fongicides

Capacités d'adaptation et résilience

L'hypothèse au cœur du projet est que **les systèmes plus résilients reposent sur le développement de différentes modalités de diversification** (des cultures, des produits, des services, Spiegel et al., 2021) et de mise en synergie des composantes des systèmes de production (intra et inter exploitation) au sein du socio-écosystème. Dans le projet CAFRUA[51], dont l'objectif est d'analyser les synergies entre la protection contre les inondations, la

[51] Challenges of Agriculture adaptation to Flood Risk in Urban Areas: synergies between flood protection, urban planning and peri-urban agriculture development

planification urbaine et le développement de l'agriculture périurbaine, je mène avec Nina Graveline (économiste, UMR Innovation) et Pauline Brémont (économiste, UMR G-Eau), et l'appui d'une stagiaire (2022), une recherche sur l'identification et l'analyse des capacités d'adaptation au changement climatique des exploitations agricoles péri-urbaines situées en zones inondables au sein et autour de la métropole de Montpellier. Nous avons deux objectifs : (1) proposer une grille d'analyse de la **résilience**, reposant sur la littérature (ex. ACL4, Darnhofer et al., 2010, Jacobi et al., 2018, Perrin et Martin, 2021, travaux de l'UMR G-Eau) mettant en exergue les capacités d'adaptation (dont capacités d'apprentissage) ; (2) caractériser la résilience et les capacités d'adaptation d'agriculteurs face à l'aléa inondation, dont l'occurrence risque de s'accroître avec le changement climatique. Nous chercherons à caractériser les trajectoires des exploitations (ex. bifurcations et raisons associées) pour intégrer des notions de seuils critiques, en lien avec la perception des agriculteurs du changement climatique et des risques naturels et de leurs impacts sur leurs activités. Mon objectif est d'avoir une grille générique, illustrée de cas concrets (exploitations viticoles et maraîchères), pour m'en inspirer (i.e., l'adapter) dans mes futurs travaux utilisant la modélisation. Le projet CAFRUA est ciblé sur les inondations, Nina et moi souhaitons cependant élargir à d'autres chocs (ex. climatiques : gel, sécheresse ; mais également des marchés : ex. prix des fertilisants suite à la guerre en Ukraine). Pour faire le lien avec les travaux cités précédemment (services climatiques), j'aimerais construire un projet pour étudier si, et comment, l'utilisation d'informations de type services climatiques permet de favoriser la résilience des systèmes et exploitations agricoles. Je pense qu'il faudrait élargir la problématique, en considérant d'autres chocs (ex. marchés, politiques publiques), mais également la prise en compte d'autres types d'informations, y compris à plus long terme / de tendances (soit rétrospectives, soit prospectives, ex. projections sous changement climatique). Est-ce que ce type d'information permet aux parties prenantes de concevoir des systèmes plus résilients ?

<u>Transition agroécologique : compréhension, conception et évaluation</u>

Trois de mes recherches contribuent à la transition agroécologique : la thèse de Clémence Bénézet (2019-2023), la thèse de Maryline Darmaun (2020-2023), et une thèse en construction avec Delphine Leenhardt (UMR G-Eau) et Ludovic Lhuissier (CACG).

La thèse de Clémence Bénézet porte sur le rôle du cheval (pour le travail du sol) comme vecteur d'apprentissages pour la transition agroécologique. Je co-encadre cette thèse, qui s'inscrit en Sciences de l'Éducation et est dirigée par Serge Leblanc (LIRDEF, Université de Montpellier Paul Valéry) et Mireille Navarrete (UMR Ecodéveloppement). Prenant l'exemple de la traction

équine comme pratique agroécologique (i.e., plus d'herbicide, moins de passages de tracteurs), la thèse cherche à (1) décrire et comprendre **la transition agroécologique sur le temps long** de quelques domaines viticoles, en considérant à la fois des dynamiques temporelles et spatiales (surfaces annuelles et opérations techniques à l'aide du cheval) ; (2) éclairer les rôles du cheval et de son meneur dans la compréhension de la parcelle, les retours au viticulteur, et l'adaptation des pratiques de travail du sol. Pour répondre à ces objectifs, Clémence mobilise l'agronomie et l'analyse du travail, en particulier le programme de recherche sur le cours d'action (Leblanc et al., 2001 ; Theureau, 2003), qui appréhende l'activité de manière holistique sans séparer « action - perception - émotion - sensation - interprétation – cognition ». Elle observe les meneurs « en action », les filme, puis revient avec eux sur ces séquences pour analyser très finement le travail. Si ce type de méthode est très utilisée pour des dispositifs pédagogiques, la méthode et les résultats de la thèse de Clémence participe de mon projet de recherche de plusieurs manières : (1) comprendre les expériences de transition agroécologique, leurs raisons, difficultés, retours en arrière, et apprentissages ; (2) accéder à l'activité des viticulteurs pendant la transition (ex. Chizallet et al., 2019) ; (3) m'outiller méthodologiquement pour comprendre la décision et son rapport à l'action, en particulier pour aller plus loin que des dispositifs d'enquêtes à la fois pour le diagnostic, et pour l'apport de connaissances pour la conception (comme suggéré par Prost, 2019).

La deuxième recherche contribuant à cet axe porte sur l'évaluation de la transition agroécologique, et est portée par Maryline Darmaun dans sa thèse, que je co-encadre avec Stéphane de Tourdonnet (UMR ABSys) et Tiphaine Chevallier (UMR Eco&Sols). L'objectif de la thèse de Maryline est de construire et d'éprouver une méthode d'évaluation de la transition agroécologique permettant de rendre compte des dynamiques spatio-temporelles, des conditions de développement et des impacts multidimensionnels. Maryline a construit la méthode à partir d'une revue systématique de la littérature (publication en cours), et s'attache à l'appliquer sur quatre cas d'étude (en France et au Sénégal). Ce travail me permet d'avancer sur deux aspects de mon projet de recherche : (1) comprendre la transition, mais surtout (2) avancer sur les méthodes pour l'évaluer, Maryline combinant en particulier l'analyse de la durabilité et de la résilience de ces transitions, réalisées à des échelles exploitation ou plus larges (village).

Le troisième travail concourant à cet axe de recherche est une thèse en cours de montage dans le cadre du projet TETRAE TAI-OC[52] (déposé en mars 2022), que j'ai contribué à construire

[52] Transition agroécologique et irrigation en Occitanie

avec D. Leenhardt (UMR G-Eau). Elle participe en particulier à l'articulation conception-évaluation au travers des jeux sérieux. L'objectif de cette thèse sera de construire et mettre en œuvre un jeu sérieux permettant de soutenir la conception de systèmes agroécologiques irrigués à différentes échelles. Pour construire ce jeu, nous nous appuierons sur des travaux récents (SEGAE, Jouan et al., 2021 ; ESSIMAGE, Trabelsi et al., 2019 ; jeu RSEAU en développement à la CACG). Si la formalisation ne sera pas forcément explicitement sous forme de modèle multi-agent, le jeu sera construit dans cet esprit (agents agriculteurs, agent police de l'eau, agent politiques publiques, etc.). L'objectif est alors de construire, avec les agriculteurs et autres parties prenantes, des stratégies pour aller vers des systèmes plus durables, y compris en réponse à des facteurs de changement (internes et externes, comme classiquement dans les approches de scénarisation). Ainsi ce jeu, et le calculateur simple adossé, considèrera des performances multiples (agronomiques, économiques), à l'échelle des exploitations agricoles et des territoires. L'objectif est ainsi d'accompagner la réflexion des agriculteurs (a priori dans des zones céréalières) sur des pratiques agroécologiques, plus durables, et moins consommatrices en eau. Ceci me permettra ainsi d'avancer (1) sur les modalités de construction et de mise en œuvre des jeux sérieux pour accompagner la réflexion des parties prenantes, et (2) sur la prise de décision (ici virtuelle), via l'observation des sessions de jeu, avec ou sans changement favorisant la décision (ex. facteurs de changement de prix, de règlementation de l'usage de l'eau, de labels agroécologiques, etc.). Ceci sera notamment réalisé en collaboration avec des spécialistes des jeux sérieux de l'UMR G-Eau et en collaboration avec des collègues de l'UMR Innovation (N. Graveline en particulier).

3.3.2 Actions à plus long terme et perspectives

Je propose ici des actions de plus long terme, qui nécessiteront que je monte des projets en deux temps **: (1) construire et tester l'approche proposée sur un territoire ; (2) monter en généricité en étendant cette approche sur d'autres questions et territoires.** Je pense que cela fait appel à des financements différents : (1) financements région, Ademe, ou fondations locales (ex. Agropolis) ; (2) financement ANR (via des appels à projets nationaux ou internationaux, selon les cas d'études). Ces projets pourront s'appuyer sur le collectif ACTINA, et le groupe CLIMAT, et sur mes partenaires internationaux, en particulier pour le 2ème type de projet, pour : (1) favoriser une diversité de territoires cas d'études (Nord et Sud en particulier) et ainsi monter en généricité ; (2) mettre en œuvre une interdisciplinarité plus forte (agronomie, économie, sociologie).

Pour faire du lien entre les pistes évoquées ci-dessus, j'aimerais m'appuyer sur un territoire, a priori le bassin viticole du Rieutort, pour penser « plus systémique ». L'objectif serait d'accompagner les parties prenantes dans leurs réflexions à divers horizons de temps : le court et le moyen terme (des chocs en termes climatiques, de prix), et le long terme (tendances règlementaires et changement climatique), **via une approche de scénarisation explorant les changements pas à pas**. Ceci me semble pertinent pour un système pérenne car les choix à la plantation sont stables pour la durée du vignoble (20 ans), et les décisions à court terme, pour des objectifs et performances à court terme, peuvent être préjudiciables aux objectifs et performances à moyen et long termes. En bénéficiant des résultats des projets précédents (thèse Audrey Naulleau, projet Ripp-Viti) et des dynamiques de participation établies, je souhaiterais définir avec les parties prenantes locales la problématique à étudier, la formalisation du système pour construire un modèle multi-agent *ad hoc*, couplé à un jeu sérieux, permettant de concevoir les futurs contextes et changements dans les systèmes viticoles, et à leurs impacts en termes de durabilité et de résilience à l'échelle des exploitations et du bassin versant. Ce type d'approche permet-il aux parties prenantes de se projeter dans un chemin de transition ? Ceci me semble d'autant plus prometteur que : (1) la nécessité de prendre en compte les chocs, et de penser long terme, a été soulignée par certaines parties prenantes locales ; (2) la diversification comme adaptation a été proposée par des viticulteurs et des représentants de syndicat d'AOP pour faire face aux enjeux à court et long termes.

Mon objectif est de formaliser et d'éprouver une telle méthode sur un terrain « connu », avec des acteurs parties prenantes de la démarche, pour ensuite monter en généricité et l'appliquer sur d'autres territoires, d'autres systèmes de production, avec des parties prenantes plus « novices ». Quels préalables à la mise en place d'une telle démarche (outre un diagnostic fin, et un travail d'enrôlement des parties prenantes) ? Quelle place du contexte, et plus spécifiquement du régime sociotechnique local (ex. Duru et al., 2015b ; Meynard et al., 2018) ? Si ces questions sont essentielles, je souhaite avancer sur les méthodes et connaissances mentionnées plus haut, avant d'élargir ma démarche de recherche vers ces questions.

4 Conclusion

Depuis ma thèse il y a 10 ans, mes travaux de recherche ont évolué vers des méthodes impliquant la participation croissante des parties prenantes locales, en particulier des agriculteurs, dans la conception et l'évaluation de systèmes agricoles innovants, via la mobilisation d'outils au service de la conception permettant leur forte implication. Une partie importante de mes travaux a été réalisée avec des étudiant.e.s, que j'ai accompagné.e.s dans leurs questionnements, la définition de leurs méthodes et leurs applications. Dans la majorité de mes travaux, j'ai réalisé l'étape d'évaluation des systèmes innovants avec des outils numériques, de moins en moins complexes au fil de mon parcours, pour favoriser leur transparence et leur rôle d'outil intermédiaire avec les parties prenantes. J'ai ainsi mené des travaux de modélisation participative de plus en plus « ancrés » dans le terrain, pour favoriser des démarches permettant d'accompagner les parties prenantes locales dans l'émergence de systèmes agricoles répondant en particulier aux enjeux du changement climatique et de la réduction des impacts des pesticides. L'originalité méthodologique de mes travaux a porté sur la combinaison originale d'outils d'aide à la conception et d'outils d'évaluation quantitative, en particulier dans des approches de scénarisation. Mon ambition opérationnelle était de construire, avec les parties prenantes, des produits au service de leur réflexion vers de nouveaux systèmes répondant à leurs préoccupations à différents horizons de temps. Au fil de mes travaux, j'ai identifié les atouts des méthodes que j'ai développées, mais également leurs difficultés, limites et biais, que je souhaite surmonter dans mes travaux futurs. Ceci m'amène à proposer trois fortes inflexions pour mon futur projet, qui s'appuie sur les avancées méthodologiques en agronomie de ces dernières années : (1) favoriser la créativité dans les processus de conception-évaluation participatives ; (2) caractériser les capacités d'adaptation des agriculteurs pour les intégrer dans les démarches de scénarisation ; (3) développer des méthodes et outils de conception et d'évaluation favorisant les interactions entre parties prenantes, et entre parties prenantes et outils. Je souhaite explorer ces nouveaux axes, qui m'éloigneront parfois temporairement de mes approches de scénarisation, en collaboration forte avec les parties prenantes locales, avec les porteurs de ces nouvelles méthodes, et dans des approches interdisciplinaires, en particulier avec des économistes. Ces collaborations s'ancreront au sein de projets co-construits, et s'appuieront sur des co-encadrements d'étudiants en stage de master ou en thèse, comme proposé dans le projet de recherche formalisé dans ce dossier pour l''Habilitation à Diriger les Recherches.

5 Bibliographie

Alavanja, M.C.R., Hoppin, J.A., Kamel, F., 2004. Health Effects of Chronic Pesticide Exposure: Cancer and Neurotoxicity. Annu. Rev. Public Health 25, 155–197. https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.25.101802.123020

Alcamo, J., Henrichs, T., 2008. Toward guidelines for environmental scenario analysis, in: Environmental Futures. The Practice of Environmental Scenario Analysis. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier, pp. 13–35.

Alcamo, J., Ribeiro, T., 2001. Scenarios as tools for international environmental assessment. European Environment Agency.

Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M.A., 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. Agron. Sustain. Dev. 35, 869–890. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2

Ameur, F., Amichi, H., Kuper, M., Hammani, A., 2017. Specifying the differentiated contribution of farmers to groundwater depletion in two irrigated areas in North Africa. Hydrogeol. J. 25, 1579–1591. https://doi.org/10.1007/s10040-017-1569-1

Anderson, J., Clément, J., Crowder, L.V., 1998. Accommodating multiple interests in forestry. Unasylva 49, 3–10.

Andrieu, N., Howland, F., Acosta-Alba, I., Le Coq, J.-F., Osorio-Garcia, A.M., Martinez-Baron, D., Gamba-Trimiño, C., Loboguerrero, A.M., Chia, E., 2019. Co-designing Climate-Smart Farming Systems With Local Stakeholders: A Methodological Framework for Achieving Large-Scale Change. Front. Sustain. Food Syst. 3, 37. https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00037

Aubertot, J.-N., Pinochet, X., Doré, T., 2004. The effects of sowing date and nitrogen availability during vegetative stages on Leptosphaeria maculans development on winter oilseed rape. Crop Prot. 23, 635–645. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.11.015

Baccar, M., Bouaziz, A., Dugué, P., Gafsi, M., Le Gal, P.-Y., 2019. The determining factors of farm sustainability in a context of growing agricultural intensification. Agroecol. Sustain. Food Syst. 43, 386–408. https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1489934

Bakker, M.M., van Doorn, A.M., 2009. Farmer-specific relationships between land use change and landscape factors: Introducing agents in empirical land use modelling. Land Use Policy 26, 809–817. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.10.010

Barnaud, C., Bousquet, F., Trebuil, G., 2008. Multi-agent simulations to explore rules for rural credit in a highland farming community of Northern Thailand. Ecol. Econ. 66, 615–627. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.10.022

Barreteau, O., Antona, M., D'Aquino, P., Aubert, S., Boissau, S., Bousquet, F., Daré, W., Etienne, M., Le Page, C., Mathevet, R., Trébuil, G., Weber, J., 2003. Our Companion Modelling Approach. J. Artif. Soc. Soc. Simul. 6, 1.

Barreteau, O., Le Page, C., Perez, P., 2007. Contribution of simulation and gaming to natural resource management issues: An introduction. Simul. Gaming 38, 185–194. https://doi.org/10.1177/1046878107300660

Barzman, M., Dachbrodt-Saaydeh, S., 2011. Comparative analysis of pesticide action plans in five European countries. Pest Manag. Sci. 67, 1481–1485. https://doi.org/10.1002/ps.2283

Becu, N., Neef, A., Schreinemachers, P., Sangkapitux, C., 2008. Participatory computer simulation to support collective decision-making: Potential and limits of stakeholder involvement. Land Use Policy 25, 498–509. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.11.002

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. Eur. J. Agron., Cropping Systems Design: new methods for new challenges 32, 3–9.

https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.06.001

Berthet, E.T., Bosshardt, S., Malicet-Chebbah, L., van Frank, G., Weil, B., Segrestin, B., Rivière, P., Bernard, L., Baritaux, E., Goldringer, I., 2020. Designing Innovative Management for Cultivated Biodiversity: Lessons from a Pioneering Collaboration between French Farmers, Facilitators and Researchers around Participatory Bread Wheat Breeding. Sustainability 12, 605. https://doi.org/10.3390/su12020605

Berthet, E.T.A., Barnaud, C., Girard, N., Labatut, J., Martin, G., 2016. How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. J. Environ. Plan. Manag. 59, 280–301. https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1009627

Bindi, M., Olesen, J.E., 2011. The responses of agriculture in Europe to climate change. Reg. Environ. Change 11, 151–158. https://doi.org/10.1007/s10113-010-0173-x

Bokor, A., Barbetti, M.J., Brown, A.G.P., Nish, G.C.M., Wood, P.M., 1975. Blackleg of rapeseed. J. Dep. Agric. West. Aust. Series 4, 7–10.

Bousquet, F., Le Page, C., 2004. Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. Ecol. Model. 176, 313–332. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.011

Branco, J.M.P., Ferreira, F.A.F., Meidutė-Kavaliauskienė, I., Banaitis, A., Falcão, P.F., 2019. Analysing determinants of small and medium-sized enterprise resilience using fuzzy cognitive mapping. J. Multi-Criteria Decis. Anal. 26, 252–264. https://doi.org/10.1002/mcda.1662

Brandenburg, A.M., Carroll, M.S., Blatner, K.A., 1995. Towards Successful Forest Planning Through Locally Based Qualitative Sociology. West. J. Appl. For. 10, 95–100. https://doi.org/10.1093/wjaf/10.3.95

Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M.H., Ruget, F., Nicoullaud, B., Gate, P., Devienne-Barret, F., Antonioletti, R., Durr, C., Richard, G., Beaudoin, N., Recous, S., Tayot, X., Plenet, D., Cellier, P., Machet, J.-M., Meynard, J.M., Delécolle, R., 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. Agronomie 18, 311–346. https://doi.org/10.1051/agro:19980501

Casagrande, M., Alletto, L., Naudin, C., Lenoir, A., Siah, A., Celette, F., 2017. Enhancing planned and associated biodiversity in French farming systems. Agron. Sustain. Dev. 37, 57. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0463-5

Cash, D.W., Clark, W.C., Alcock, F., Dickson, N.M., Eckley, N., Guston, D.H., Jäger, J., Mitchell, R.B., 2003. Knowledge systems for sustainable development. Proc. Natl. Acad. Sci. 100, 8086–8091. https://doi.org/10.1073/pnas.1231332100

Catalogna, M., Dubois, M., Navarrete, M., 2018. Diversity of experimentation by farmers engaged in agroecology. Agron. Sustain. Dev. 38, 50. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0526-2

Celette, F., Ripoche, A., Gary, C., 2010. WaLIS—A simple model to simulate water partitioning in a crop association: The example of an intercropped vineyard. Agric. Water Manag. 97, 1749–1759. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.06.008

Chang, W., Cheng, J., Allaire, J.J., Xie, Y., McPherson, J., 2016. Shiny: web application framework for R.

Chantre, E., Cardona, A., 2014. Trajectories of French Field Crop Farmers Moving Toward Sustainable Farming Practices: Change, Learning, and Links with the Advisory Services. Agroecol. Sustain. Food Syst. 38, 573–602. https://doi.org/10.1080/21683565.2013.876483

Chantre, E., Cerf, M., Le Bail, M., 2015. Transitional pathways towards input reduction on French field crop farms. Int. J. Agric. Sustain. 13, 69–86. https://doi.org/10.1080/14735903.2014.945316

Chantre, E., Guichard, L., Ballot, R., Jacquet, F., Jeuffroy, M.-H., Prigent, C., Barzman,

M., 2016. Co-click'eau, a participatory method for land-use scenarios in water catchments. Land Use Policy 59, 260–271. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.001

Chantre, É., Le Bail, M., Cerf, M., 2014. Une diversité de configurations d'apprentissage en situation de travail pour réduire l'usage des engrais et pesticides agricoles. Activités 11. https://doi.org/10.4000/activites.1061

Chizallet, M., Prost, L., Barcellini, F., 2019. Comprendre l'activité de conception d'agriculteurs en transition agroécologique : vers un modèle trilogique de la conception. Psychol. Fr. 64, 119–139. https://doi.org/10.1016/j.psfr.2019.03.001

Colbach, N., 2010. Modelling cropping system effects on crop pest dynamics: How to compromise between process analysis and decision aid. Plant Sci. 179, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.04.009

Colnenne-David, C., Grandeau, G., Jeuffroy, M.-H., Dore, T., 2017. Ambitious environmental and economic goals for the future of agriculture are unequally achieved by innovative cropping systems. Field Crops Res. 210, 114–128. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.009

Confalonieri, R., Rosenmund, A.S., Baruth, B., 2009. An improved model to simulate rice yield. Agron. Sustain. Dev. 29, 463–474. https://doi.org/10.1051/agro/2009005

Darnhofer, I., 2021. Resilience or how do we enable agricultural systems to ride the waves of unexpected change? Agric. Syst. 187, 102997. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102997

Darnhofer, I., Fairweather, J., Moller, H., 2010. Assessing a farm's sustainability: insights from resilience thinking. Int. J. Agric. Sustain. 8, 186–198. https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0480

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. Agron. Sustain. Dev. 29, 73–86. https://doi.org/10.1051/agro:2008050

Della Rossa, P., Mottes, C., Cattan, P., Le Bail, M., 2022. A new method to co-design agricultural systems at the territorial scale - Application to reduce herbicide pollution in Martinique. Agric. Syst. 196, 103337. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103337

Delmotte, S., Barbier, J.-M., Mouret, J.-C., Le Page, C., Wery, J., Chauvelon, P., Sandoz, A., Lopez Ridaura, S., 2016. Participatory integrated assessment of scenarios for organic farming at different scales in Camargue, France. Agric. Syst. 143, 147–158. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.009

Delourme, R., Chèvre, A.M., Brun, H., Rouxel, T., Balesdent, M.H., Dias, J.S., Salisbury, P., Renard, M., Rimmer, S.R., 2006. Major gene and polygenic resistance to Leptosphaeria maculans in oilseed rape (Brassica napus), in: Fitt, B.D.L., Evans, N., Howlett, B.J., Cooke, B.M. (Eds.), Sustainable Strategies for Managing Brassica Napus (Oilseed Rape) Resistance to Leptosphaeria Maculans (Phoma Stem Canker): Under the Aegis of a European-Australian Workshop Held at INRA, Versailles, France, in Association with the EU SECURE Project (QLK5-CT-2002-01813). Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 41–52. https://doi.org/10.1007/1-4020-4525-5_4

Deytieux, V., Munier-Jolain, N., Caneill, J., 2016. Assessing the sustainability of cropping systems in single- and multi-site studies. A review of methods. Eur. J. Agron. 72, 107–126. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.005

Dockerty, T., Lovett, A., Appleton, K., Bone, A., Sünnenberg, G., 2006. Developing scenarios and visualisations to illustrate potential policy and climatic influences on future agricultural landscapes. Agric. Ecosyst. Environ., Scenario-Based Studies of Future Land Use in Europe 114, 103–120. https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.008

Duru, M., Therond, O., Fares, M., 2015a. Designing agroecological transitions; A

review. Agron. Sustain. Dev. 35, 1237–1257. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x

Duru, M., Therond, O., Fares, M., 2015b. Designing agroecological transitions; A review. Agron. Sustain. Dev. 35, 1237–1257. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x

Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., Sarthou, J.P., 2015c. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. Agron. Sustain. Dev. 35, 1259–1281. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1

El Ansari, L., Chenoune, R., A. Yigezu, Y., Gary, C., Belhouchette, H., 2020. Trade-Offs between Sustainability Indicators in Response to the Production Choices of Different Farm Household Types in Drylands. Agronomy 10, 998. https://doi.org/10.3390/agronomy10070998

Elbaz, A., Clavel, J., Rathouz, P.J., Moisan, F., Galanaud, J.-P., Delemotte, B., Alpérovitch, A., Tzourio, C., 2009. Professional exposure to pesticides and Parkinson disease. Ann. Neurol. 66, 494–504. https://doi.org/10.1002/ana.21717

Engi, D., Glicken, J., 1995. The vital issues process: Strategic planning for a changing world (No. SAND--95-0845, 89508). https://doi.org/10.2172/89508

Enserink, M., Hines, P.J., Vignieri, S.N., Wigginton, N.S., Yeston, J.S., 2013. The Pesticide Paradox. Science 341, 728–729. https://doi.org/10.1126/science.341.6147.728

Etienne, M., 2011. Companion modelling. A participatory approach to support sustainable development, Etienne M. ed. Quae, Versailles.

Etienne, M., Du Toit, D.R., Pollard, S., 2011. ARDI: A Co-construction Method for Participatory Modeling in Natural Resources Management. Ecol. Soc. 16, art44. https://doi.org/10.5751/ES-03748-160144

Fabre, J.-C., Louchart, X., Colin, F., Dagès, C., Moussa, R., Rabotin, M., Raclot, D., Lagacherie, P., Voltz, M., 2010. OpenFLUID : a software environment for modelling fluxes in landscapes. Presented at the International Conference on Integrative Landscape Modelling, Editions Quae.

Falloon, P., Betts, R., 2010. Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation—The importance of an integrated approach. Sci. Total Environ. 408, 5667–5687. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.05.002

Faure, G., Gasselin, P., Triomphe, B., Hocdé, H., Temple, L., 2010. Innover avec les acteurs du monde rural. éditions Quae. https://doi.org/10.35690/978-2-7592-0608-7

Ferber, J., 2006. Concepts et méthodologies multi-agents, in: Frédéric Amblard, D.P. (Ed.), Modélisation et Simulation Multi-Agents. Hermès, pp. 23–48.

Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., Zaks, D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature 478, 337–342. https://doi.org/10.1038/nature10452

Gary, C., Dubuc, M., METRAL, R., Fortino, G., 2015. DEXiPM Vigne® (version 1.0), un outil pour l'analyse de la durabilité des systèmes de culture viticoles. Manuel des entrées de DEXiPM Vigne®.

Glicken, J., 2000. Getting stakeholder participation 'right': a discussion of participatory processes and possible pitfalls. Environ. Sci. Policy 3, 305–310. https://doi.org/10.1016/S1462-9011(00)00105-2

Gouttenoire, L., Cournut, S., Ingrand, S., 2013. Participatory modelling with farmer groups to help them redesign their livestock farming systems. Agron. Sustain. Dev. 33, 413–424. https://doi.org/10.1007/s13593-012-0112-y

Grasso, M., Feola, G., 2012. Mediterranean agriculture under climate change: adaptive capacity, adaptation, and ethics. Reg. Environ. Change 12, 607–618. https://doi.org/10.1007/s10113-011-0274-1

Gray, S., Voinov, A., Paolisso, M., Jordan, R., BenDor, T., Bommel, P., Glynn, P., Hedelin, B., Hubacek, K., Introne, J., Kolagani, N., Laursen, B., Prell, C., Schmitt Olabisi, L., Singer, A., Sterling, E., Zellner, M., 2018. Purpose, processes, partnerships, and products: four Ps to advance participatory socio-environmental modeling. Ecol. Appl. 28, 46–61. https://doi.org/10.1002/eap.1627

Gray, S.A., Gray, S., De Kok, J.L., Helfgott, A.E.R., O'Dwyer, B., Jordan, R., Nyaki, A., 2015. Using fuzzy cognitive mapping as a participatory approach to analyze change, preferred states, and perceived resilience of social-ecological systems. Ecol. Soc. 20, art11. https://doi.org/10.5751/ES-07396-200211

Gray, S.A., Zanre, E., Gray, S.R.J., 2014. Fuzzy Cognitive Maps as Representations of Mental Models and Group Beliefs, in: Papageorgiou, E.I. (Ed.), Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering: From Fundamentals to Extensions and Learning Algorithms, Intelligent Systems Reference Library. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 29–48. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39739-4_2

Grimble, R., Wellard, K., 1997. Stakeholder methodologies in natural resource management: a review of principles, contexts, experiences and opportunities. Agric. Syst., Socio-economic Methods in Renewable Natural Resources Research 55, 173–193. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(97)00006-1

Guilpart, N., Metay, A., Gary, C., 2014. Grapevine bud fertility and number of berries per bunch are determined by water and nitrogen stress around flowering in the previous year. Eur. J. Agron. 54, 9–20. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.002

Gumuschian, H., 2002. Entre forme et sens : le territoire comme objet géographique, in: Agronomes et Territoires : Deuxième Édition Des Entretiens Du Pradel, Actes Du Colloque Du 13 Septembre 2002. L'Harmattan, Paris.

Hailegiorgis, A., Crooks, A., Cioffi-Revilla, C., 2018. An Agent-Based Model of Rural Households' Adaptation to Climate Change. J. Artif. Soc. Soc. Simul. 21, 4.

Hatchuel, A., Le Masson, P., Weil, B., 2009. Design Theory and Collective Creativity: A Theoretical Framework to Evaluate KCP Process. 58-6 Proc. ICED 09 17th Int. Conf. Eng. Des. Vol 6 Des. Methods Tools Pt 2 Palo Alto CA USA 24-27082009 277–288.

Hatchuel, A., Masson, P.L., Reich, Y., Weil, B., 2011. A systematic approach of design theories using generativeness and robustness, in: DS 68-2: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), Impacting Society through Engineering Design, Vol. 2: Design Theory and Research Methodology. Lyngby/Copenhagen, Denmark, pp. 87–97.

Hatchuel, A., Weil, B., 2009. C-K design theory: an advanced formulation. Res. Eng. Des. 19, 181–192. https://doi.org/10.1007/s00163-008-0043-4

Hengsdijk, H., Bouman, B.A.M., Nieuwenhuyse, A., Jansen, H.G.P., 1999. Quantification of land use systems using technical coefficient generators: a case study for the Northern Atlantic zone of Costa Rica. Agric. Syst. 61, 109–121. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00041-4

Hill, S.B., MacRae, R.J., 1996. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. J. Sustain. Agric. 7, 81–87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07

Huber, R., Bakker, M., Balmann, A., Berger, T., Bithell, M., Brown, C., Grêt-Regamey, A., Xiong, H., Le, Q.B., Mack, G., Meyfroidt, P., Millington, J., Müller, B., Polhill, J.G., Sun, Z., Seidl, R., Troost, C., Finger, R., 2018. Representation of decision-making in European agricultural agent-based models. Agric. Syst. 167, 143–160. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.09.007

Jacobi, J., Mukhovi, S., Llanque, A., Augstburger, H., Käser, F., Pozo, C., Ngutu Peter, M., Delgado, J.M.F., Kiteme, B.P., Rist, S., Ifejika Speranza, C., 2018. Operationalizing food system resilience: An indicator-based assessment in agroindustrial, smallholder farming, and

agroecological contexts in Bolivia and Kenya. Land Use Policy 79, 433–446. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.044

Jacquet, F., Jeuffroy, M.-H., Jouan, J., Le Cadre, E., Litrico, I., Malausa, T., Reboud, X., Huyghe, C., 2022. Pesticide-free agriculture as a new paradigm for research. Agron. Sustain. Dev. 42, 8. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00742-8

Jones, L., Tanner, T., 2017. 'Subjective resilience': using perceptions to quantify household resilience to climate extremes and disasters. Reg. Environ. Change 17, 229–243. https://doi.org/10.1007/s10113-016-0995-2

Jouan, J., Carof, M., Baccar, R., Bareille, N., Bastian, S., Brogna, D., Burgio, G., Couvreur, S., Cupiał, M., Dufrêne, M., Dumont, B., Gontier, P., Jacquot, A.-L., Kański, J., Magagnoli, S., Makulska, J., Pérès, G., Ridier, A., Salou, T., Sgolastra, F., Szeląg-Sikora, A., Tabor, S., Tombarkiewicz, B., Węglarz, A., Godinot, O., 2021. SEGAE: An online serious game to learn agroecology. Agric. Syst. 191, 103145. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103145

Kopf, S., Ha-Duong, M., Hallegatte, S., 2008. Using maps of city analogues to display and interpret climate change scenarios and their uncertainty. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 8, 905–918. https://doi.org/10.5194/nhess-8-905-2008

Lacombe, C., Couix, N., Hazard, L., 2018. Designing agroecological farming systems with farmers: A review. Agric. Syst. 165, 208–220. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.014

Lagacherie, P., Rabotin, M., Colin, F., Moussa, R., Voltz, M., 2010. Geo-MHYDAS: A landscape discretization tool for distributed hydrological modeling of cultivated areas. Comput. Geosci. 36, 1021–1032. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.12.005

Lamichhane, J.R., Bischoff-Schaefer, M., Bluemel, S., Dachbrodt-Saaydeh, S., Dreux, L., Jansen, J.-P., Kiss, J., Köhl, J., Kudsk, P., Malausa, T., Messéan, A., Nicot, P.C., Ricci, P., Thibierge, J., Villeneuve, F., 2017. Identifying obstacles and ranking common biological control research priorities for Europe to manage most economically important pests in arable, vegetable and perennial crops. Pest Manag. Sci. 73, 14–21. https://doi.org/10.1002/ps.4423

Lang, A., Ramseyer, M., 2011. Analyse - Diagnostic de l'agriculture du Plateau de Valensole : Le rôle de l'irrigation en question. AgroParisTech, Paris.

Lazzaro, L., Otto, S., Zanin, G., 2008. Role of hedgerows in intercepting spray drift: Evaluation and modelling of the effects. Agric. Ecosyst. Environ. 123, 317–327. https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.009

Le Bail, M., 2005. Le bassin d'approvisionnement : territoire de la gestion agronomique de la qualité végétale, in: Agronomes et Territoires : Deuxième édition des entretiens du Pradel, Actes du colloque du 13 septembre 2002. L'Harmattan, L'Harmattan, Paris.

Le Gal, P.-Y., Dugué, P., Faure, G., Novak, S., 2011. How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. Agric. Syst. 104, 714–728. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.07.007

Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A., 2006. Les processus d'innovation, conception innovante et croissance des entreprises. Hermès Paris 8.

Le Page, C., Bobo, K.S., Kamgaing, T.O.W., Ngahane, B.F., Waltert, M., 2015. Interactive Simulations with a Stylized Scale Model to Codesign with Villagers an Agent-Based Model of Bushmeat Hunting in the Periphery of Korup National Park (Cameroon). J. Artif. Soc. Soc. Simul. 18, 8.

Leblanc, S., Durand, M., Saury, J., Theureau, J., 2001. Knowledge construction during multimedia user's action. Comput. Educ. 36, 59–82.

Leclère, M., Loyce, C., Jeuffroy, M.-H., 2018. Growing camelina as a second crop in France: A participatory design approach to produce actionable knowledge. Eur. J. Agron. 101, 78–89. https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.08.006

Leenhardt, D., Therond, O., Cordier, M.-O., Gascuel-Odoux, C., Reynaud, A., Durand,

P., Bergez, J.-E., Clavel, L., Masson, V., Moreau, P., 2012. A generic framework for scenario exercises using models applied to water-resource management. Environ. Model. Softw. 37, 125–133. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.03.010

Legg, D.E., 2004. The relevance of modelling in successful implementation of IPM, in: Integrated Pest Management: Potential, Constraints and Challenges. Cabi publ., Oklahoma state University, United States, pp. 39–54.

Leigh Star, S., 2010. This is Not a Boundary Object: Reflections on the Origin of a Concept. Sci. Technol. Hum. Values 35, 601–617. https://doi.org/10.1177/0162243910377624

Lejars, C., Courilleau, S., 2015. Impact du développement de l'accès à l'eau souterraine sur la dynamique d'une filière irriguée Le cas de l'oignon d'été dans le Saïs au Maroc. Cah. Agric. 24, 1-10 (1). https://doi.org/10.1684/agr.2014.0729

Lippe, M., Thai Minh, T., Neef, A., Hilger, T., Hoffmann, V., Lam, N.T., Cadisch, G., 2011. Building on qualitative datasets and participatory processes to simulate land use change in a mountain watershed of Northwest Vietnam. Environ. Model. Softw. 26, 1454–1466. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.07.009

Lô-Pelzer, E., Bousset, L., Jeuffroy, M.H., Salam, M.U., Pinochet, X., Boillot, M., Aubertot, J.N., 2010. SIPPOM-WOSR: A Simulator for Integrated Pathogen POpulation Management of phoma stem canker on Winter OilSeed Rape: I. Description of the model. Field Crops Res. 118, 73–81. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.04.007

Magrini, M.-B., Anton, M., Cholez, C., Corre-Hellou, G., Duc, G., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Pelzer, E., Voisin, A.-S., Walrand, S., 2016. Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. Ecol. Econ. 126, 152–162. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.024

Makowski, D., Marajo-Petitzon, E., Durand, J.-L., Ben-Ari, T., 2020. Quantitative synthesis of temperature, CO2, rainfall, and adaptation effects on global crop yields. Eur. J. Agron. 115, 126041. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126041

Mansoori, H., Ghorbani, M., Kohansal, M.R., 2021. Determining the Effects of Climate Change and Market Prices on Farm's Structure by Using an Agent Based Model. J. Agric. Sci. 27, 204–210. https://doi.org/10.15832/ankutbd.495246

Maracchi, G., Sirotenko, O., Bindi, M., 2005. Impacts of Present and Future Climate Variability on Agriculture and Forestry in the Temperate Regions: Europe. Clim. Change 70, 117–135. https://doi.org/10.1007/s10584-005-5939-7

March, S.T., Smith, G.F., 1995. Design and natural science research on information technology. Decis. Support Syst. 15, 251–266. https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2

Martin, G., Felten, B., Duru, M., 2011. Forage rummy: A game to support the participatory design of adapted livestock systems. Environ. Model. Softw. 26, 1442–1453. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.08.013

Martin, G., Martin-Clouaire, R., Duru, M., 2013. Farming system design to feed the changing world. A review. Agron. Sustain. Dev. 33, 131–149. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0075-4

Mathevet, R., Etienne, M., Lynam, T., Calvet, C., 2011. Water Management in the Camargue Biosphere Reserve: Insights from Comparative Mental Models Analysis. Ecol. Soc. 16. https://doi.org/10.5751/ES-04007-160143

McGranahan, D.A., 2014. Ecologies of Scale: Multifunctionality Connects Conservation and Agriculture across Fields, Farms, and Landscapes. Land 3, 739–769. https://doi.org/10.3390/land3030739

Meehan, T.D., Werling, B.P., Landis, D.A., Gratton, C., 2011. Agricultural landscape simplification and insecticide use in the Midwestern United States [WWW Document]. PNAS. URL https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.1100751108 (accessed 3.4.22).

Meynard, J.M., 2012. La reconception est en marche! Conclusion au Colloque “Vers des systèmes de culture innovants et performants: De la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former.” Innov. Agron. 143–153.

Meynard, J.-M., 2008. Produire autrement : réinventer les systèmes de culture, in: Des Systèmes de Culture Innovants et Durables : Quelles Méthodes Pour Les Mettre Au Point et Les Évaluer ? Educagri, Dijon, pp. 11–27.

Meynard, J.-M., Casabianca, F., 2012. Agricultural systems and the innovation process, in: Bouche, R., Derkimba, A., Casabianca, F. (Eds.), New Trends for Innovation in the Mediterranean Animal Production, EAAP – European Federation of Animal Science. Academic Publishers, Wageningen, pp. 17–26. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-726-4_1

Meynard, J.-M., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., Magrini, M.-B., Charlier, A., Messéan, A., 2018. Socio-technical lock-in hinders crop diversification in France. Agron. Sustain. Dev. 38, 54. https://doi.org/10.1007/s13593-018-0535-1

Meynard, J.-M., Dedieu, Benoit, Bos, A.P., 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices, in: Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, Benoît (Eds.), Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 405–429. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18

Meynard, J.-M., Jeuffroy, M.-H., 2021. Agroécologie et Innovation, in: La Transition Agroécologique : Quelles Perspectives En France ?, Sous La Direction de D. Couvet et B. Hubert. Presses des Mines-Académie d’Agriculture de France, Paris, p. pp 321-341.

Ministère de la Transition Écologique, 2021. Les émissions de gaz à effet de serre de l’agriculture [WWW Document]. URL https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/defis-environnementaux/changement-climatique/emissions-de-gaz-a-effet-de-serre/article/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-de-l-agriculture (accessed 3.4.22).

Miraglia, M., Marvin, H.J.P., Kleter, G.A., Battilani, P., Brera, C., Coni, E., Cubadda, F., Croci, L., De Santis, B., Dekkers, S., Filippi, L., Hutjes, R.W.A., Noordam, M.Y., Pisante, M., Piva, G., Prandini, A., Toti, L., van den Born, G.J., Vespermann, A., 2009. Climate change and food safety: An emerging issue with special focus on Europe. Food Chem. Toxicol., Early Awareness of Emerging Risks to Food and Feed Safety 47, 1009–1021. https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.02.005

Morales-Castilla, I., García de Cortázar-Atauri, I., Cook, B.I., Lacombe, T., Parker, A., van Leeuwen, C., Nicholas, K.A., Wolkovich, E.M., 2020. Diversity buffers winegrowing regions from climate change losses. Proc. Natl. Acad. Sci. 117, 2864–2869. https://doi.org/10.1073/pnas.1906731117

Moussa, R., Voltz, M., Andrieux, P., 2002. Effects of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during flood events. Hydrol. Process. 16, 393–412. https://doi.org/10.1002/hyp.333

Olazabal, M., Pascual, U., 2016. Use of fuzzy cognitive maps to study urban resilience and transformation. Environ. Innov. Soc. Transit. 18, 18–40. https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.06.006

Olesen, J.E., Carter, T.R., Díaz-Ambrona, C.H., Fronzek, S., Heidmann, T., Hickler, T., Holt, T., Minguez, M.I., Morales, P., Palutikof, J.P., Quemada, M., Ruiz-Ramos, M., Rubæk, G.H., Sau, F., Smith, B., Sykes, M.T., 2007. Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems based on scenarios from regional climate models. Clim. Change 81, 123–143. https://doi.org/10.1007/s10584-006-9216-1

Ould-Sidi, M.-M., Lescourret, F., 2011. Model-based design of integrated production systems: a review. Agron. Sustain. Dev. 31, 571–588. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0002-8

Page, B., Kaika, M., 2003. The EU Water Framework Directive: part 2. Policy innovation and the shifting choreography of governance. Eur. Environ. 13, 328–343.

https://doi.org/10.1002/eet.332

Papy, F., 2001. Pour une théorie du ménage des champs : l'agronomie des territoires. Comptes Rendus Académie Agric. Fr. 87, 139.

Patel, M., Kok, K., Rothman, D.S., 2007. Participatory scenario construction in land use analysis: An insight into the experiences created by stakeholder involvement in the Northern Mediterranean. Land Use Policy, Integrated Assessment of the Land System: The Future of Land Use 24, 546–561. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2006.02.005

Pergher, G., Petris, R., 2008. Pesticide Dose Adjustment in Vineyard Spraying and Potential for Dose Reduction. Agric. Eng. Int. CIGR J.

Périnelle, A., Meynard, J.-M., Scopel, E., 2021. Combining on-farm innovation tracking and participatory prototyping trials to develop legume-based cropping systems in West Africa. Agric. Syst. 187, 102978. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102978

Pernollet, C.A., Cavallo, F., Simpson, D., Gauthier-Clerc, M., Guillemain, M., 2017. Seed density and waterfowl use of rice fields in Camargue, France: Seed Density and Use of Rice Fields by Ducks. J. Wildl. Manag. 81, 96–111. https://doi.org/10.1002/jwmg.21167

Pernollet, C.A., Guelmami, A., Green, A.J., Curcó Masip, A., Dies, B., Bogliani, G., Tesio, F., Brogi, A., Gauthier-Clerc, M., Guillemain, M., 2015. A comparison of wintering duck numbers among European rice production areas with contrasting flooding regimes. Biol. Conserv. 186, 214–224. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.03.019

Perrin, A., Martin, G., 2021. Resilience of French organic dairy cattle farms and supply chains to the Covid-19 pandemic. Agric. Syst. 190, 103082. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103082

Pertot, I., Caffi, T., Rossi, V., Mugnai, L., Hoffmann, C., Grando, M.S., Gary, C., Lafond, D., Duso, C., Thiery, D., Mazzoni, V., Anfora, G., 2017. A critical review of plant protection tools for reducing pesticide use on grapevine and new perspectives for the implementation of IPM in viticulture. Crop Prot., Pesticide use and risk reduction with IPM 97, 70–84. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.025

Pretty, J., 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 363, 447–465. https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163

Primdahl, J., 1999. Agricultural landscapes as places of production and for living in owner's versus producer's decision making and the implications for planning. Landsc. Urban Plan. 46, 143–150. https://doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00038-9

Prost, L., 2019. La recherche agronomique au prisme de la conception (thesis). Université Paris Est Marne-la-Vallée ; ABIES Doctoral School.

Prost, L., Reau, R., Paravano, L., Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., 2018. Designing agricultural systems from invention to implementation: the contribution of agronomy. Lessons from a case study. Agric. Syst. 164, 122–132. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.009

Quarouch, H., Kuper, M., Hassane, A.E., Bouarfa, S., 2014. Eaux souterraines, sources de dignité et ressources sociales : cas d'agriculteurs dans la plaine du Saïss au Maroc. Cah. Agric. 23, 158-165 (1). https://doi.org/10.1684/agr.2014.0699

Quinio, M., Guichard, L., Salazar, P., Détienne, F., Jeuffroy, M.-H., 2022. Cognitive resources to promote exploration in agroecological systems design. Agric. Syst. 196, 103334. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103334

Rauschmayer, F., Wittmer, H., 2006. Evaluating deliberative and analytical methods for the resolution of environmental conflicts. Land Use Policy, Resolving Environmental Conflicts:Combining Participation and Muli-Criteria Analysis 23, 108–122. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.08.011

Ravier, C., Jeuffroy, M.-H., Gate, P., Cohan, J.-P., Meynard, J.-M., 2018. Combining user involvement with innovative design to develop a radical new method for managing N fertilization. Nutr. Cycl. Agroecosystems 110, 117–134. https://doi.org/10.1007/s10705-017-

9891-5

Ravier, C., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., 2016. Mismatch between a science-based decision tool and its use: The case of the balance-sheet method for nitrogen fertilization in France. NJAS Wagening. J. Life Sci. 79, 31–40. https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.10.001

Reed, M.S., 2008. Stakeholder participation for environmental management: A literature review. Biol. Conserv. 141, 2417–2431. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.07.014

Reed, M.S., Fraser, E.D.G., Dougill, A.J., 2006. An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. Ecol. Econ. 59, 406–418. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.11.008

Reidsma, P., Ewert, F., Boogaard, H., Diepen, K. van, 2009. Regional crop modelling in Europe: The impact of climatic conditions and farm characteristics on maize yields. Agric. Syst. 100, 51–60. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.12.009

Rouault, A., Perrin, A., Renaud-Gentié, C., Julien, S., Jourjon, F., 2020. Using LCA in a participatory eco-design approach in agriculture: the example of vineyard management. Int. J. Life Cycle Assess. 25, 1368–1383. https://doi.org/10.1007/s11367-019-01684-w

Rouxel, T., Penaud, A., Pinochet, X., Brun, H., Gout, L., Delourme, R., Schmit, J., Balesdent, M.-H., 2003. A 10-year Survey of Populations of Leptosphaeria maculans in France Indicates a Rapid Adaptation Towards the Rlm1 Resistance Gene of Oilseed Rape. Eur. J. Plant Pathol. 109, 871–881. https://doi.org/10.1023/A:1026189225466

Salembier, C., Elverdin, J.H., Meynard, J.-M., 2016. Tracking on-farm innovations to unearth alternatives to the dominant soybean-based system in the Argentinean Pampa. Agron. Sustain. Dev. 36, 1. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0343-9

Salembier, C., Segrestin, B., Berthet, E., Weil, B., Meynard, J.-M., 2018. Genealogy of design reasoning in agronomy: Lessons for supporting the design of agricultural systems. Agric. Syst. 164, 277–290. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.05.005

Salembier, C., Segrestin, B., Weil, B., Jeuffroy, M.-H., Cadoux, S., Cros, C., Favrelière, E., Fontaine, L., Gimaret, M., Noilhan, C., Petit, A., Petit, M.-S., Porhiel, J.-Y., Sicard, H., Reau, R., Ronceux, A., Meynard, J.-M., 2021. A theoretical framework for tracking farmers' innovations to support farming system design. Agron. Sustain. Dev. 41, 61. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00713-z

Schädler, B., Weingartner, R., 2010. Impact of Climate Change on Water Resources in the Alpine Regions of Switzerland, in: Bundi, U. (Ed.), Alpine Waters, The Handbook of Environmental Chemistry. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 59–69. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88275-6_3

Schneider, O., Roger-Estrade, J., Aubertot, J.-N., Doré, T., 2006. Effect of seeders and tillage equipment on vertical distribution of oilseed rape stubble. Soil Tillage Res. 85, 115–122. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.12.007

Slimi, C., Prost, M., Cerf, M., Prost, L., 2021. Exchanges among farmers' collectives in support of sustainable agriculture: From review to reconceptualization. J. Rural Stud. 83, 268–278. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.01.019

Souchère, V., Millair, L., Echeverria, J., Bousquet, F., Le Page, C., Etienne, M., 2010. Co-constructing with stakeholders a role-playing game to initiate collective management of erosive runoff risks at the watershed scale. Environ. Model. Softw., Thematic Issue - Modelling with Stakeholders 25, 1359–1370. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.03.002

Souissi, I., Boisson, J.M., Mekki, I., Therond, O., Flichman, G., Wery, J., Belhouchette, H., 2018. Impact assessment of climate change on farming systems in the South Mediterranean area: a Tunisian case study. Reg. Environ. Change 18, 637–650. https://doi.org/10.1007/s10113-017-1130-8

Soulignac, V., Pinet, F., Lambert, E., Guichard, L., Trouche, L., Aubin, S., 2019. GECO, the French Web-based application for knowledge management in agroecology.

Comput. Electron. Agric. 162, 1050–1056. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.10.028

Spiegel, A., Slijper, T., de Mey, Y., Meuwissen, M.P.M., Poortvliet, P.M., Rommel, J., Hansson, H., Vigani, M., Soriano, B., Wauters, E., Appel, F., Antonioli, F., Gavrilescu, C., Gradziuk, P., Finger, R., Feindt, P.H., 2021. Resilience capacities as perceived by European farmers. Agric. Syst. 193, 103224. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103224

Stoate, C., Boatman, N.D., Borralho, R.J., Carvalho, C.R., Snoo, G.R. de, Eden, P., 2001. Ecological impacts of arable intensification in Europe. J. Environ. Manage. 63, 337–365. https://doi.org/10.1006/jema.2001.0473

Swart, R.J., Raskin, P., Robinson, J., 2004. The problem of the future: sustainability science and scenario analysis. Glob. Environ. Change 14, 137–146. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.002

Tardivo, C., 2016. La modélisation collaborative pour stimuler l'émergence d'un système agricole plus durable. Conception et mise en oeuvre d'une démarche sur le plateau de Valensole (Thèse de Doctorat). AgroParisTech.

Therond, O., Belhouchette, H., Janssen, S., Louhichi, K., Ewert, F., Bergez, J.-E., Wery, J., Heckelei, T., Olsson, J.A., Leenhardt, D., Van Ittersum, M., 2009. Methodology to translate policy assessment problems into scenarios: the example of the SEAMLESS integrated framework. Environ. Sci. Policy 12, 619–630. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.01.013

Theureau, J., 2003. Handbook of Cognitive Task Design, Lawrence Erlbaum. ed, E. Hollnagel (Ed.), Handbook of Cognitive Task Design. CRC Press, Hillsdale (NJ).

Thieu, V., Billen, G., Garnier, J., Benoît, M., 2011. Nitrogen cycling in a hypothetical scenario of generalised organic agriculture in the Seine, Somme and Scheldt watersheds. Reg. Environ. Change 11, 359–370. https://doi.org/10.1007/s10113-010-0142-4

Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Mischler, P., Pernel, J., Prost, L., 2017. Farmers' use of fundamental knowledge to re-design their cropping systems: situated contextualisation processes. NJAS Wagening. J. Life Sci. 80, 37–47. https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.11.004

Trabelsi, M., Mandart, E., Le Grusse, P., Bord, J.-P., 2019. ESSIMAGE: a tool for the assessment of the agroecological performance of agricultural production systems. Environ. Sci. Pollut. Res. 26, 9257–9280. https://doi.org/10.1007/s11356-019-04387-9

Valbuena, D., Verburg, P.H., Bregt, A.K., Ligtenberg, A., 2010. An agent-based approach to model land-use change at a regional scale. Landsc. Ecol. 25, 185–199. https://doi.org/10.1007/s10980-009-9380-6

van Asselt Marjolein, B.A., Rijkens-Klomp, N., 2002. A look in the mirror: reflection on participation in Integrated Assessment from a methodological perspective. Glob. Environ. Change 12, 167–184. https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00012-2

van Bruggen, A., Nikolic, I., Kwakkel, J., 2019. Modeling with Stakeholders for Transformative Change. Sustainability 11, 825. https://doi.org/10.3390/su11030825

van de Zande, J.C., Huijsmans, J.F.M., Porskamp, H.A.J., Michielsen, J.M.G.P., Stallinga, H., Holterman, H.J., de Jong, A., 2008. Spray techniques: how to optimise spray deposition and minimise spray drift. The Environmentalist 28, 9–17. https://doi.org/10.1007/s10669-007-9036-5

van den Belt, M., Kenyan, J.R., Krueger, E., Maynard, A., Roy, M.G., Raphael, I., 2010. Public sector administration of ecological economics systems using mediated modeling. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1185, 196–210. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05164.x

van der Lee, J., Kangogo, D., Gülzari, Ş.Ö., Dentoni, D., Oosting, S., Bijman, J., Klerkx, L., 2022. Theoretical positions and approaches to resilience assessment in farming systems. A review. Agron. Sustain. Dev. 42, 27. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00755-x

van Dijk, M., Morley, T., Rau, M.L., Saghai, Y., 2021. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. Nat. Food 2, 494–501. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9

van Ittersum, M.K., Ewert, F., Heckelei, T., Wery, J., Alkan Olsson, J., Andersen, E., Bezlepkina, I., Brouwer, F., Donatelli, M., Flichman, G., Olsson, L., Rizzoli, A.E., van der Wal, T., Wien, J.E., Wolf, J., 2008. Integrated assessment of agricultural systems – A component-based framework for the European Union (SEAMLESS). Agric. Syst. 96, 150–165. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.07.009

van Notten, P., 2005. Writing on the Wall: Scenario Development in Times of Discontinuity. Universal-Publishers.

van Vliet, M., Kok, K., Veldkamp, T., 2010. Linking stakeholders and modellers in scenario studies: The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. Futures 42, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.futures.2009.08.005

van't Klooster, S.A., van Asselt, M.B.A., 2006. Practising the scenario-axes technique. Futures 38, 15–30. https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.04.019

Varum, C.A., Melo, C., 2010. Directions in scenario planning literature – A review of the past decades. Futures, Learning the Future Faster 42, 355–369. https://doi.org/10.1016/j.futures.2009.11.021

Verret, V., Pelzer, E., Bedoussac, L., Jeuffroy, M.-H., 2020. Tracking on-farm innovative practices to support crop mixture design: The case of annual mixtures including a legume crop. Eur. J. Agron. 115, 126018. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126018

Voinov, A., Bousquet, F., 2010. Modelling with stakeholders☆. Environ. Model. Softw. 25, 1268–1281. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.007

Voinov, A., Gaddis, E.J.B., 2008. Lessons for successful participatory watershed modeling: A perspective from modeling practitioners. Ecol. Model., Special Issue dedicated to the memory of Yuri Svirezhev 216, 197–207. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.03.010

Voinov, A., Jenni, K., Gray, S., Kolagani, N., Glynn, P.D., Bommel, P., Prell, C., Zellner, M., Paolisso, M., Jordan, R., Sterling, E., Schmitt Olabisi, L., Giabbanelli, P.J., Sun, Z., Le Page, C., Elsawah, S., BenDor, T.K., Hubacek, K., Laursen, B.K., Jetter, A., Basco-Carrera, L., Singer, A., Young, L., Brunacini, J., Smajgl, A., 2018. Tools and methods in participatory modeling: Selecting the right tool for the job. Environ. Model. Softw. 109, 232–255. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.08.028

Walker, B., Holling, C.S., Carpenter, S., Kinzig, A., 2004. Resilience, Adaptability and Transformability in Social–ecological Systems. Ecol. Soc. 9. https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205

Wimolsakcharoen, W., Dumrongrojwatthana, P., Page, C.L., Bousquet, F., Trébuil, G., 2021. An agent-based model to support community forest management and non-timber forest product harvesting in northern Thailand. Socio-Environ. Syst. Model. 3, 17894–17894. https://doi.org/10.18174/sesmo.2021a17894

6 Tirés à part

Laure Hossard, Marie-Helene Jeuffroy, Elise Pelzer, Xavier Pinochet, Veronique Souchere. A participatory approach to design spatial scenarios of cropping systems and assess their effects on phoma stem canker management at a regional scale. *Environmental Modelling and Software*, Elsevier, 2013, 48, pp.17 - 26. ⟨10.1016/j.envsoft.2013.05.014⟩

Sylvestre Delmotte, Vincent Couderc, Jean-Claude Mouret, Santiago Lopez Ridaura, Jean Marc Barbier, **Laure Hossard**. From stakeholders narratives to modelling plausible future agricultural systems: integrated assessment of scenarios for Camargue, Southern France. *European Journal of Agronomy*, Elsevier, 2017, 82, pp.292-307. ⟨10.1016/j.eja.2016.09.009⟩

Laure Hossard, *Caroline Tardivo*, Jean-Marc Barbier, Roberto Cittadini, Sylvestre Delmotte, Christophe Le Page. Embedding the integrated assessment of agricultural systems in a companion modeling process to debate and enhance their sustainability. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2022, 42 (1), pp.11. ⟨10.1007/s13593-021-00744-6⟩

Laure Hossard, Aziz Fadlaoui, *Elsa Ricote*, Hatem Belhouchette. Assessing the resilience of farming systems on the Saïs plain, Morocco. *Regional Environmental Change*, Springer Verlag, 2021, 21 (2), 14 p. ⟨10.1007/s10113-021-01764-4⟩

Audrey Naulleau, Christian Gary, Laurent Prévot, Victor Berteloot, Jean-Christophe Fabre, David Crevoisier, Rémi Gaudin, **Laure Hossard**. Participatory modeling to assess the impacts of climate change in a Mediterranean vineyard watershed. *Environmental Modelling & Software*, 2022, 105342. ⟨10.1016/j.envsoft.2022.105342⟩