



HAL
open science

Des leviers pour accompagner les trajectoires de diversification des cultures dans les exploitations agricoles et les territoires. Cas de trois régions européennes

Eva Revoyron

► To cite this version:

Eva Revoyron. Des leviers pour accompagner les trajectoires de diversification des cultures dans les exploitations agricoles et les territoires. Cas de trois régions européennes. Sciences agricoles. Université Paris-Saclay, 2022. Français. NNT : 2022UPASB044 . tel-03948516

HAL Id: tel-03948516

<https://pastel.hal.science/tel-03948516>

Submitted on 20 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Des leviers pour accompagner les
trajectoires de diversification des cultures
dans les exploitations agricoles et les
territoires. Cas de trois régions
européennes

*Supporting crop diversification pathways of farms and territories. Case of
three European regions*

Thèse de doctorat de l'université Paris-Saclay

École doctorale n° 581 agriculture, alimentation, biologie, environnement, santé
(ABIES)

Spécialité de doctorat : Sciences agronomiques
Graduate School : Bisophaera. Référent : AgroParisTech

Thèse préparée dans l'**UMR SADAPT**, sous la direction de
Marianne LE BAIL, Professeure, et le co-encadrement de **Jean-Marc MEYNARD**,
Directeur de Recherche

Thèse soutenue à Paris-Saclay, le 27 juin 2022, par

Eva REVOYRON

Composition du Jury

Chantal LOYCE Professeure, AgroParisTech (Université Paris-Saclay)	Présidente
Mireille NAVARRETE Directrice de Recherche, INRAE (Centre PACA)	Rapporteur & Examinatrice
Claudine THENAIL Chargée de Recherche (HDR), INRAE (Centre Bretagne-Normandie)	Rapporteur & Examinatrice
Marie-Benoît MAGRINI Ingénieure de Recherche, INRAE (Centre Occitanie-Toulouse)	Examinatrice
Didier STILMANT Inspecteur général scientifique, CRA-W (Belgique)	Examineur
Marianne LE BAIL Professeure, AgroParisTech (Université Paris-Saclay)	Directrice de thèse
Jean-Marc MEYNARD Directeur de Recherche, INRAE (Université Paris-Saclay)	Invité
Aline VANDEWALLE Ingénieure, Chambre régionale d'agriculture des Pays de la Loire	Invitée

Titre : Des leviers pour accompagner les trajectoires de diversification des cultures dans les exploitations agricoles et les territoires. Cas de trois régions européennes

Mots clés : agronomie, trajectoires de changement de pratiques, filières, conseil, systèmes d'approvisionnement, apprentissages

Résumé : La diversification des cultures est un enjeu majeur de l'agroécologie, mais se heurte à une situation de verrouillage autour de quelques espèces cultivées dominantes. L'objectif de la thèse est d'identifier des moyens de sortir de ces situations de verrouillage, en s'appuyant sur des expériences existantes de diversification des cultures dans trois territoires en France, en Italie et en Suède. En identifiant des mécanismes de diversification transversaux à ces trois territoires, ce travail donne à voir la diversité des manières de diversifier et des processus qui y sont associés.

L'analyse des trajectoires d'exploitations agricoles ayant diversifié leurs cultures nous permet de mettre en évidence les motivations à diversifier des agriculteurs et leurs combinaisons. La diversité de ces motivations et des ressources mobilisées par les agriculteurs au cours de leur trajectoire conduisent à des processus de diversification de nature et d'intensité variées.

Au niveau des territoires, nous caractérisons différents types de systèmes d'approvisionnement à travers lesquels sont commercialisées les cultures de diversification. La caractérisation de ces systèmes nous permet de comprendre la relation entre les stratégies des entreprises d'aval et les dynamiques de diversification, et de montrer l'importance de la complémentarité des systèmes d'approvisionnement pour la diversification des territoires.

Enfin, nous éclairons les modalités d'apprentissage des agriculteurs qui diversifient. Celles-ci évoluent au cours des trajectoires, selon l'objet sur lequel portent les apprentissages, mais aussi en fonction des attentes des agriculteurs vis-à-vis de la diversification, et des systèmes d'approvisionnement dans lesquels ils s'engagent.

Nous concluons en proposant aux acteurs des filières et des territoires, ainsi qu'aux pouvoirs publics, quelques leviers d'action favorables à la restauration d'une dynamique de diversification.

Title : Supporting crop diversification pathways of farms and territories. Case of three European regions

Keywords : agronomy, practice change pathways, value chains, advisory services, supply systems, learning

Abstract : Crop diversification is a major issue for agroecology, but it comes up against a situation of lock-in around a few dominant crop species. The objective of the thesis is to identify ways out of these locked-in situations, drawing on existing crop diversification experiences in three regions in France, Italy and Sweden. By identifying crosscutting diversification mechanisms in these three regions, this work shows the diversity of ways to diversify and of the associated processes.

The analysis of the pathways of farms that diversified their crops enables us to highlight farmers' motivations to diversify and the combinations thereof. The diversity of these motivations and of the resources mobilized by farmers during their pathways lead to diversification processes of varying nature and intensity.

At the territorial level, we characterize different types of crop supply systems through which diversification crops are marketed. The characterization of these systems allows us to understand the relationship between the strategies of downstream firms and territorial dynamics of diversification, and to show the importance of the complementarity of crop supply systems for crop diversification at the territorial level.

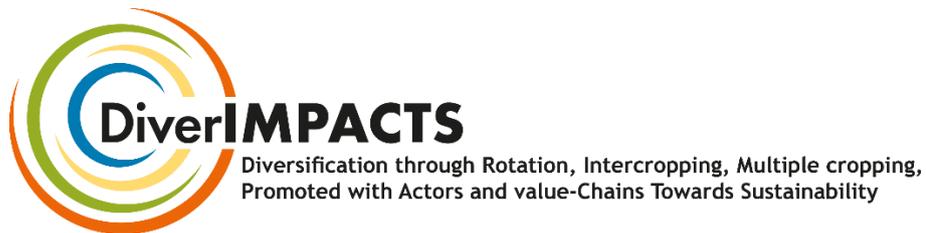
Finally, we shed light on the learning situations and processes of farmers who diversify. These evolve over the course of diversification pathways, depending on the object of learning, but also on the expectations of farmers with respect to crop diversification, and on the crop supply systems in which they engage.

We conclude by proposing to value chain actors and regional actors, as well as to policy-makers, some levers of action to promote the re-establishment of a diversification dynamic.

AVANT-PROPOS

Cette thèse a été co-encadrée par Marianne Le Bail (UMR SADAPT, AgroParisTech) et Jean-Marc Meynard (UMR SADAPT, INRAE), et accueillie au sein de l'UMR SADAPT (INRAE, AgroParisTech) et de l'USC LEVA (ESA, INRAE).

Elle a été financée dans le cadre du programme de recherche européen H2020 DiverIMPACTS « Diversification through Rotation, Intercropping, Multiple Cropping, Promoted with Actors and value-Chains towards Sustainability » n°727482.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 727482 (DiverIMPACTS)

REMERCIEMENTS

La « trajectoire » de cette thèse a débuté en 2016, au cours de mon stage de master 2 qui portait – déjà ! – sur les changements de pratiques des agriculteurs et sur la diversification des cultures ; vers l'introduction de légumineuses plus exactement. Six ans plus tard, il n'est pas forcément facile de remercier toutes celles et ceux qui m'ont aidée à construire cette trajectoire, en France, en Italie, en Suède... ou en virtuel. J'espère en oublier le moins possible.

Mes remerciements vont tout d'abord à Marianne Le Bail et Jean-Marc Meynard : merci de m'avoir accompagnée pendant ces années de thèse avec de l'exigence scientifique, de la bienveillance humaine, le sens de l'humour... et de la patience dans les moments où la trajectoire patinait. Marianne, merci pour ton enthousiasme dès nos premiers échanges, ta pédagogie, et pour la richesse de nos discussions, professionnelles ou non. Jean-Marc, merci pour tes conseils toujours « pragmatiques », mais aussi pour toutes les fois où tu m'as encouragée à suivre mon intuition.

Merci aux membres de mon comité de suivi de thèse, Antoine Messéan, Sophie Madelrieux, Julie Wohlfahrt, Pierre Labarthe et Irène Felix, pour vos précieux retours et conseils sur mes questions de recherche, mes cadres d'analyse et mes premiers résultats.

Un grand merci à Mireille Navarrete, Claudine Thenail, Didier Stilmant, Chantal Loyce, Marie-Benoit Magrini et Aline Vandewalle d'avoir accepté de faire partie du jury de cette thèse.

Merci à Marie Mawois pour ton accompagnement tout au long de la construction et du démarrage de ce projet de thèse, et pour être restée présente par la suite. Merci aussi à Marion Casagrande pour ton accompagnement de « l'avant-thèse » et pour m'avoir guidée, entre Lyon et la Bourgogne, dans mon premier travail de recherche !

Merci à Louis Lebrun pour ton précieux travail de stage sur les apprentissages des agriculteurs, de très bonne qualité malgré tous les aléas « covid » que tu as rencontré, pour ton implication et pour ta curiosité.

Avant que la pandémie ne rende tout cela difficile, j'ai bénéficié au sein du programme Diverimpacts de rencontres, d'échanges et d'animations scientifiques très nombreux et riches : merci à tous les chercheurs et non-chercheurs du projet pour la multitude de points de vue et discussions engagées aux différentes assemblées et séminaires. Une pensée particulière pour Kevin et Barbara, avec qui j'ai eu la chance de partager de nombreuses journées d'ateliers, toujours pleines de bonne humeur et riches d'échanges scientifiques.

Merci également à toute l'équipe d'animation et d'organisation des Journées des Doctorants du département ACT d'INRAE, autre lieu fort d'échanges

riches et de retours d'expérience précieux sur la diversité de nos parcours de recherche.

Mes points d'attache géographiques ont été nombreux pendant cette thèse.

Merci au LEVA de m'avoir accueillie à Angers avant et pendant la thèse. Merci en particulier à Joëlle et Guénaëlle qui ont rendu cet accueil possible, et à Marie P. pour ton soutien administratif sans faille ! A l'équipe technique – Sylvie, Julien, Vincent, Antonin –, aux doctorants – Laure, Céline, Timothée – et à tous les autres qui sont passés par le « bunker » – Loïc, Charline, Alexandre... – : c'était toujours un plaisir de partager un bureau et des pauses café avec vous.

Merci au SADAPT, et à l'équipe Concepts, pour votre accueil lors de mes passages souvent éclair à Paris ou Grignon, et pour les temps d'échange scientifiques que nous avons malgré tout pu avoir. Je tiens en particulier à remercier Florence Barré d'avoir été mon deuxième « pilier » administratif : merci pour ton accompagnement et ta réactivité dans la logistique souvent complexe de mes déplacements en France et à l'étranger. Un merci particulier, aussi, aux non-permanents du labo, et surtout à Yannick, Marie, Faustine et Elodie pour avoir animé les « skype café » qui nous ont offert des respirations bienvenues tout au long des confinements.

En Vendée, je tiens à remercier particulièrement Jérémy Berthomier de m'avoir permis de mieux comprendre ce territoire et d'y trouver mes premiers contacts. Merci aussi à Emmanuel Merot et Aline Vandewalle pour leur soutien. Dans les Marches, ce sont Laura Ridolfi, Paolo Mucci, Stefano Tavoletti, Marco Seghetti et Luca Colombo qui ont rendu mes périodes de terrain et les enquêtes qui les ont constituées possibles. En Scanie, je tiens à remercier Anita Gunnarsson pour les prises de contact très riches qu'elle m'a permises, et Linnéa Stolt Hellberg pour son aide à la traduction lorsque la communication en anglais n'était pas possible avec les personnes enquêtées.

Dans ces trois territoires, je remercie chaleureusement toutes les personnes qui ont accepté de me recevoir en entretien et pris le temps de me partager leurs expériences, m'apportant ainsi le matériau au centre de la construction de cette thèse : agriculteurs et agricultrices, conseillers et conseillères agricoles, opérateurs et opératrices de l'aval des filières agricoles, engagés dans la diversification des cultures.

Je dois remercier finalement tous les amis, présents ou distants, qui m'ont encouragée, soutenue, redonné de la motivation, ou changé les idées – et souvent hébergée – pendant toute cette aventure : Siham, Camille, Juliette, Elsa, Laura, Tristan, Celina, Yingdi et Rasmus, Sarah et Simon, Nicolas... merci aux copains thésards, aux copains d'écriture et aux copains ni l'un ni l'autre pour vos présences. Un grand merci aussi à ma famille, présente et soutenante malgré la distance et ma disponibilité pas toujours au rendez-vous.

Merci à Marie d'avoir été chaque jour à mes côtés.

Merci, enfin, à mon grand-père, qui m'a appris à lire et à écrire – c'est peut-être là que cette trajectoire a réellement commencé.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	3
REMERCIEMENTS	5
INTRODUCTION GENERALE	13
PARTIE 1 : PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE	17
1 Les freins à la diversification des cultures	17
1.1 Les freins du point de vue des exploitations agricoles	17
1.2 Les freins du point de vue des systèmes sociotechniques	19
2 Les changements de pratiques des agriculteurs	21
2.1 Les pratiques des agriculteurs, objet d'étude de l'agronomie.....	21
2.2 Les changements de pratiques au cours du temps : l'étude des trajectoires	22
2.3 Les déterminants des changements de pratiques : l'étude des motivations des agriculteurs	26
2.4 Comment se font les changements de pratiques : l'étude des processus	26
3 Les changements de pratiques des acteurs des filières agricoles et des territoires	31
3.1 Les interactions entre aval des filières et exploitations agricoles : l'analyse des systèmes d'approvisionnement	31
3.2 Les pratiques des acteurs des filières : l'étude des systèmes sociotechniques et des verrouillages technologiques	32
4 Organisation du manuscrit : quels leviers pour diversifier les cultures au niveau des exploitations agricoles et des territoires ?	34
4.1 Positionnement scientifique de la thèse	34
4.2 Démarche générale et questions de recherche	34
4.3 Une étude de la diversification dans trois régions européennes : dispositif de recherche	37
PARTIE 2 : RÉSULTATS	41
CHAPITRE 1. TRAJECTOIRES DE DIVERSIFICATION DES CULTURES DANS LES EXPLOITATIONS AGRICOLES	43
1 Introduction	44
2 Material and methods	46
2.1 Study areas.....	46
2.2 Analytical framework	47
2.3 Selection of farmers	48
2.4 Interviews and processing of interview data	49
2.5 Statistical classification of pathways.....	50
3 Results	51
3.1 Crop diversity levels at the start and end of the crop diversification pathways	51
3.2 Diversity of crop diversification pathways.....	52
3.3 Drivers of the crop diversification pathways	57
4 Discussion	61
4.1 Different ways of diversifying	61

4.2	Levers for crop diversification	62
4.3	Insights from the comparative approach of three regions.....	64
5	Conclusion	66
CHAPITRE 2. LA DIVERSIFICATION DES CULTURES AU NIVEAU DES TERRITOIRES : INFLUENCE DES INTERACTIONS ENTRE LES FILIERES, LE CONSEIL ET LES EXPLOITATIONS AGRICOLES		
1	Introduction	67
2	Méthode : analyse comparative des systèmes d’approvisionnement	68
2.1	Cadre d’analyse	68
2.2	Entretiens	68
2.3	Analyse des données	70
3	Résultats	72
3.1	Diversité des systèmes d’approvisionnement des cultures de diversification	72
3.2	Combinaison des différents types d’approvisionnements dans les territoires.....	93
4	Discussion.....	101
4.1	Une typologie des systèmes d’approvisionnement.....	101
4.2	Des innovations techniques et organisationnelles associées aux systèmes d’approvisionnement de cultures de diversification	104
4.3	Une diversité de dynamiques territoriales de diversification.....	105
4.4	Enseignements pour l’analyse des systèmes d’approvisionnement	108
CHAPITRE 3. APPRENTISSAGES DES AGRICULTEURS AU COURS DE LEURS TRAJECTOIRES DE DIVERSIFICATION DES CULTURES		
1	Introduction	111
2	Méthode : analyse des processus d’apprentissage des agriculteurs	112
2.1	Cadre d’analyse	112
2.2	Sélection des agriculteurs	114
2.3	Déroulement des entretiens	116
2.4	Traitement des données	116
3	Résultats	120
3.1	Diversité des situations d’apprentissage au cours des trajectoires de diversification	120
3.2	Trois styles d’apprentissages associés aux trajectoires de diversification	131
3.3	Les styles d’apprentissage dans les trajectoires de diversification.....	144
4	Discussion.....	148
4.1	Processus d’apprentissage liés à la diversification des cultures	148
4.2	Styles d’apprentissage, objectifs des agriculteurs et systèmes d’approvisionnement	150
4.3	Perspectives pour l’accompagnement des agriculteurs à la diversification des cultures ..	151
PARTIE 3 : DISCUSSION GÉNÉRALE.....		
1	Les mécanismes de la diversification des cultures dans les exploitations agricoles et dans les territoires.....	153
1.1	Pluralité des manières de diversifier	153
1.2	Diversifier dans un territoire	155

1.3	Motivations et attentes des agriculteurs qui diversifient	164
2	Démarche de caractérisation des processus de diversification des cultures au niveau des exploitations agricoles et des territoires	167
2.1	S'appuyer sur des expériences existantes	167
2.2	Rendre compte de la complexité des mécanismes de la diversification.....	168
3	Leviers pour la diversification des exploitations agricoles et des territoires	173
3.1	Déverrouiller : leviers de transition des systèmes sociotechniques vers la diversification des cultures	173
3.2	Rôle des différents acteurs des systèmes agri-alimentaires dans le développement et le soutien de la diversification des cultures.....	179
	CONCLUSION GENERALE	183
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	185
	ANNEXES.....	203
1	Innovating within or outside dominant food systems? different challenges for contrasting crop diversification strategies in Europe.....	204
2	Guides d'entretien	205
2.1	Guide d'entretien auprès des agriculteurs pour l'analyse des trajectoires de diversification et de leurs déterminants (chapitre 1) et pour l'analyse des systèmes d'approvisionnement des cultures de diversification (chapitre 2).....	205
2.2	Guide d'entretien auprès des acteurs des filières responsables de la collecte des cultures de diversification	210
2.3	Guide d'entretien auprès des acteurs du conseil sur leurs pratiques d'accompagnement des agriculteurs qui diversifient.....	213
2.4	Guide d'entretien auprès des agriculteurs pour l'analyse des processus d'apprentissage associés à la diversification des cultures	217
3	<i>Supplementary material</i> associé au chapitre 1	220
3.1	S.1.	220
3.2	S.2.	220
3.3	S.3.	221
3.4	S.4.	222
4	Liste des systèmes d'approvisionnement identifiés dans les trois territoires d'étude.....	223
5	Deliverable 5.3: Main drivers for farmers' choices related to crop diversification	229
6	Report. Addressing barriers to crop diversification: key elements of solutions identified across 25 case studies	230

INTRODUCTION GENERALE

La biodiversité est l'un des piliers des systèmes agricoles agroécologiques (Altieri, 1999; Kremen et al., 2012; Tiftonell et al., 2020). La diversité spatiale et temporelle des espèces cultivées, au niveau des parcelles, des exploitations agricoles et des territoires, constitue la composante la plus planifiable de cette biodiversité agricole (Beillouin et al., 2019; Duru et al., 2015; Lin, 2011).

La diversité des cultures contribue, sous certaines conditions, à maintenir la production alimentaire en limitant le recours aux intrants externes à l'exploitation agricole ou au territoire : elle réduit ainsi les externalités négatives associées aux modes de production simplifiés et spécialisés (Davis et al., 2012; Isbell et al., 2017; Mediene et al., 2011; Rosset and Altieri, 1997), et améliore la résilience des systèmes agricoles face aux aléas (Liebman and Schulte, 2015; Lin, 2011; Peoples et al., 2019). Combinée à un ensemble cohérent de pratiques, la diversification des cultures permet en effet de mieux contrôler les populations d'adventices (Adeux et al., 2019; Weisberger et al., 2019; Yvoz et al., 2020) et de réduire la pression des maladies et des ravageurs (Ratnadass et al., 2011; Storkey et al., 2019) au champ. La diversification contribue également à mieux réguler les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote et de l'eau (Kremen and Miles, 2012; Recous et al., 2019; Renwick et al., 2019), notamment si elle passe par l'augmentation de la part des légumineuses dans les rotations, et de la couverture du sol au cours de l'année. Au niveau de l'exploitation agricole, la diversification des cultures tend à favoriser la réduction des risques agronomiques (liés aux bioagresseurs, aux adventices, aux incertitudes climatiques) ou économiques (liés aux variations des prix et des coûts, à l'organisation du travail) (Gaudin et al., 2015; Li et al., 2019; Peoples et al., 2019; Renard and Tilman, 2019). À l'échelle des systèmes agri-alimentaires, elle contribue à la sécurité alimentaire (Massawe et al., 2016), mais aussi à l'emploi (Garibaldi and Pérez-Méndez, 2019) et à la santé (Dwivedi et al., 2017; IPES Food, 2016).

Or, depuis les années 1950, l'évolution des systèmes de production agricole se fait pourtant dans le sens d'une simplification et d'une spécialisation, à l'échelle des exploitations agricoles et des territoires, allant dans certaines régions du monde jusqu'à la généralisation de systèmes de monoculture (Abson, 2019; Mignolet et al., 2012; Salembier et al., 2016; Zander et al., 2016).

Des études, en Europe et aux Etats-Unis, se sont intéressées aux obstacles à la diversification rencontrés par les agriculteurs, et soulignent que ceux-ci concernent à la fois l'accès aux intrants, à des connaissances et références appropriées, et à des circuits de commercialisation et de transformation. Ces obstacles sont également liés à l'organisation des ressources productives de l'exploitation agricole, et à la gestion de l'incertitude et de la complexité induites par une diversification des systèmes de culture (Casagrande et al., 2017; Morel et al., 2020; Roesch-McNally et al., 2018a).

Le rapport *Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières* (Meynard et al., 2013), commandé à l'INRA par le Ministère de l'Agriculture français, dresse un panorama plus vaste des obstacles techniques, organisationnels et socio-économiques à la diversification des cultures qui s'exercent à différents niveaux d'organisation des systèmes agricoles (exploitation agricole, maillons de l'amont et de l'aval des filières, coordination entre acteurs). Ces obstacles sont liés à des mécanismes systémiques installés depuis les années 60, qui favorisent quelques espèces

cultivées au détriment d'un ensemble de cultures devenues « mineures » (IPES Food, 2016; Magrini et al., 2016; Marie-Benoît Magrini et al., 2019; Meynard et al., 2018, 2013).

Malgré cette situation, des expériences de diversification des cultures existent, mais elles sont encore mal connues. En Europe, plusieurs de ces expériences ont été identifiées dans le cadre du programme de recherche DiverIMPACTS, dans lequel s'inscrit cette thèse. Le projet s'appuie notamment sur un réseau de 25 cas d'étude mobilisant une dynamique multi-acteurs autour d'objectifs de diversification des cultures.

DiverIMPACTS, un projet multi-acteurs inscrit dans le programme Horizon 2020



Les systèmes européens de production de cultures arables sont souvent caractérisés par des rotations courtes voire par des monocultures, conduisant à des problèmes tels que de fortes pressions exercées par les parasites et maladies, une érosion des sols, une perte de fertilité des sols et une érosion de la biodiversité.

Dans ce contexte, l'objectif général de DiverIMPACTS est de promouvoir la diversification des systèmes de culture en vue d'en améliorer la productivité et la fourniture de services écosystémiques tout en soutenant le développement de filières durables présentant une utilisation plus efficace des ressources.

DiverIMPACTS développera une série d'innovations techniques et organisationnelles en vue (1) de surmonter les barrières et verrouillages mis en évidence tout au long de la filière, du producteur au consommateur, mais également (2) de développer des stratégies et recommandations pour renforcer la mise en place de systèmes de culture diversifiés sur le long terme.

Le projet compte 34 partenaires de 11 pays et couvre les principales régions bio-géographiques d'Europe.



DiverIMPACTS est financé par l'Union Européenne, dans le cadre du programme de Recherche et d'Innovation Horizon 2020, sous l'accord de subvention N° 727482 (DiverIMPACTS) et par Le Secrétariat d'Etat Suisse pour l'Education, la Recherche et l'Innovation (SERI)

Figure 1 : Extrait du flyer de présentation du projet DiverIMPACTS. Source : <https://www.diverimpacts.net/>

L'étude d'expériences de diversification existantes, pour comprendre dans quel contexte elles s'inscrivent et selon quelles dynamiques elles se maintiennent (ou non) dans le temps, est essentielle pour identifier et proposer des moyens de soutenir de tels processus, étant donné la complexité et le caractère systémique des obstacles à la diversification des cultures.

Dans une étude préalable à cette thèse (Morel et al., 2020)(voir annexe n°1), nous avons montré que les obstacles rencontrés par les acteurs engagés dans des processus de diversification diffèrent selon les caractéristiques des stratégies de diversification que ces acteurs cherchent à développer. L'appréhension d'une diversité de contextes et de stratégies de diversification est donc indispensable pour mieux comprendre les mécanismes de la diversification des cultures, et les leviers mobilisés par les acteurs pour dépasser les obstacles à cette diversification.

Dans cette thèse, nous cherchons ainsi à caractériser la diversité des processus de diversification à l'œuvre à l'échelle territoriale, dans plusieurs régions européennes aux caractéristiques contrastées. La question qui a motivé notre démarche de recherche est la suivante : *Quels leviers pour diversifier les cultures sont mobilisés par les acteurs de trois régions européennes présentant des dynamiques de diversification des cultures ?*

Nous nous appuyons principalement, pour traiter cette question, sur l'agronomie système. Les travaux de recherche inscrits dans cette discipline, parfois en relation avec d'autres disciplines, proposent en effet différents cadres conceptuels et méthodologiques pour étudier les pratiques des agriculteurs, le fonctionnement des exploitations agricoles, les interactions entre les pratiques des agriculteurs et celles d'autres acteurs des systèmes agricoles, et les systèmes agricoles et alimentaires d'un territoire.

PARTIE 1 : PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE

La diversification des cultures est un objet de recherche récent. Elle ne constitue souvent pas pour les acteurs un objectif en soi, mais plutôt un moyen pour atteindre d'autres objectifs, de résilience ou de durabilité, par exemple. Récemment, des méta-analyses ont proposé une synthèse des différentes formes que peuvent prendre des stratégies de diversification à l'échelle des systèmes de culture (Beillouin et al., 2019) et des effets de cette diversification sur la biodiversité et les services écosystémiques (Beillouin et al., 2021), mais il existe peu de travaux, dans la littérature scientifique, s'intéressant spécifiquement aux mécanismes de cette diversification.

Nous exposons dans cette première partie un état de l'art des travaux portant sur les freins à la diversification des cultures (1) et sur les cadres conceptuels et méthodologiques qui nous permettront de traiter la question des leviers pour accompagner les trajectoires de diversification des cultures dans les exploitations agricoles (2) et dans les territoires (3). Nous concluons en définissant les questions de recherche que cette thèse vise à traiter et le dispositif proposé pour y répondre (4).

1 LES FREINS A LA DIVERSIFICATION DES CULTURES

Les freins à la diversification des cultures ont été décrits au niveau des exploitations agricoles (1.1) et à celui des systèmes sociotechniques (1.2)

1.1 Les freins du point de vue des exploitations agricoles

L'étude *Freins et leviers à la diversification des cultures* (Meynard et al., 2018, 2013) fournit un panorama des freins à la diversification des cultures sur l'ensemble des maillons des filières agroalimentaires, de la fourniture des semences et intrants à la distribution et au consommateur. Plus récemment, nous avons caractérisé dans le cadre du projet DiverIMPACTS les obstacles à la diversification rencontrés par des acteurs des systèmes agricoles dans 25 « cas d'étude » (Morel et al., 2020) : voir annexe n°1. Au niveau de l'exploitation agricole, plusieurs freins sont mis en évidence.

(1) Difficultés de commercialisation : Les agriculteurs font face à une difficulté d'accès aux circuits de commercialisation et de transformation pour la valorisation commerciale des cultures de diversification (Meynard et al., 2018; Morel et al., 2020; Roesch-McNally et al., 2018a), lorsqu'elles ne sont pas destinées uniquement à fournir des « services » (engrais vert, piège à nitrates, couvert relais, etc.). L'accès à des débouchés est un levier de pérennisation dans le temps des cultures de diversification (Casagrande et al., 2017; Mawois et al., 2019), mais des questions de compétition entre productions se posent. Cet enjeu a plus souvent été traité par des analyses économiques à l'échelle des filières (Fares et al., 2012; Magrini et al., 2016) que par des travaux en agronomie.

(2) Manque de connaissances et de références : Un autre des freins majeurs à la diversification pour les exploitations agricoles est la faible disponibilité des connaissances agronomiques sur les cultures de diversification, et un manque de références sur les performances de ces cultures (Lavoie et al., 2021; Meynard et al., 2018; Morel et al., 2020). Ce manque de connaissances concerne en particulier l'échelle pluriannuelle (rendant visible les effets précédents) et les spécificités liées aux contextes locaux. Dans les 25 cas d'étude du projet DiverIMPACTS sont ainsi très fréquemment mentionnés le manque de

connaissances et références techniques (21/25), économiques (16/25), ou relatives à la durabilité des systèmes diversifiés (12/25) (Morel et al., 2020). Des connaissances nouvelles sur les intérêts agronomiques de la diversification sont également nécessaires aux agriculteurs pour (re)concevoir des systèmes de culture diversifiés. Le rôle des structures de conseil, des dispositifs de production de connaissances agronomiques existants, dans la faible disponibilité de connaissances utiles à la diversification est fréquemment souligné (Mawois et al., 2019; Merrien et al., 2013; Meynard et al., 2013; Morel et al., 2020).

Ce manque de connaissances se combine à des incertitudes sur le contexte climatique, économique et réglementaire, qui augmentent d'autant la complexité de gestion de systèmes diversifiés (Duru et al., 2015; Meynard et al., 2018; Morel et al., 2020). Ce qui incite à s'intéresser au processus de diversification des cultures sur une échelle de temps suffisamment longue pour tenir compte de ces incertitudes.

(3) Compatibilité avec les ressources productives existantes : Les contraintes techniques et organisationnelles auxquelles peut conduire la diversification constituent une autre catégorie de freins à cette dernière. Ces contraintes sont liées à la compatibilité des changements avec les objectifs et contraintes de l'agriculteur (Meynard et al., 2013; Morel et al., 2020; Roesch-McNally et al., 2018a). L'introduction d'une nouvelle culture sur l'exploitation nécessite en effet la prise en compte de l'ensemble des contraintes préexistantes (types de sol, disponibilité des ressources en matériel, etc.), et peut parfois nécessiter l'évolution de ces ressources productives, et donc du fonctionnement plus global de l'exploitation agricole (Merrien et al., 2013). Casagrande et al. (2017) montrent ainsi que la disponibilité en main d'œuvre est l'un des facteurs clés pour la mise en place de pratiques de diversification des cultures en grande culture.

(4) Apprentissages nécessaires : Plusieurs travaux soulignent la fréquence d'abandon de nouvelles cultures en cas d'échecs, en particulier lorsque cet échec n'est pas expliqué. Meynard et al. (2018) et Mawois et al. (2019) montrent ainsi que la maîtrise de nouvelles cultures nécessite des processus d'apprentissage par l'expérience, et par l'échange avec des pairs, qui durent plusieurs années¹. Pour Duru et al. (2015), ces apprentissages sont rendus nécessaires par la nature plus intensive en connaissances des systèmes diversifiés (qui s'accompagnent d'une complexité dans la combinaison des pratiques, dans les processus écologiques en jeu, et dans les effets des pratiques), et par la forte dépendance au contexte local de ces processus et de ces effets. Dans ce contexte, la grande majorité des travaux met en avant l'insertion dans des réseaux d'agriculteurs comme un levier majeur pour développer et combiner des connaissances, et donc favoriser la mise en œuvre réussie de la diversification des cultures, (Casagrande et al., 2017; Duru et al., 2015; Mawois et al., 2019; Meynard et al., 2018)². Blesh et Wolf (2014) et Mawois et al. (2019) montrent également que les agriculteurs ayant diversifié leurs systèmes de culture avec des légumineuses mobilisent à la fois des sources d'informations et de connaissances « classiques » (conseil, revues techniques...) et des réseaux d'agriculteurs plus alternatifs.

(5) Disponibilité des intrants : Les travaux sur la diversification mettent en évidence la faible disponibilité des intrants adaptés aux espèces mineures. En particulier, les agriculteurs font

¹ comme c'est le cas pour d'autres pratiques liées par exemple à la réduction des intrants (Chantre and Cardona, 2014)

² en cohérence avec différents travaux traitant plus largement du rôle des dynamiques collectives et des réseaux dans les changements de pratiques des agriculteurs vers l'agroécologie (e.g. Darré, 1994; Girard, 2015; Slimi et al., 2021; Warner, 2007)

face à des difficultés dans l'accès à des semences de variétés adaptées aux contextes locaux, ou à du matériel spécifique nécessaire pour certaines opérations – semis, récolte... – en partie liés à un déficit de connaissances et de recherche sur les espèces mineures (Meynard et al., 2018, 2013; Morel et al., 2020). Les cas d'étude du projet DiverIMPACTS pointent ainsi les difficultés liées aux besoins d'investissement dans du matériel spécifique (13/25) ou au manque de matériel adapté (8/25), à l'absence de variétés adaptées au contexte local (8/25), ou à la difficulté d'accès aux semences (5/25), et plus rarement au manque de produits phytosanitaires homologués (3/25).

1.2 Les freins du point de vue des systèmes sociotechniques

L'inventaire que nous venons de faire des obstacles à la diversification dans l'exploitation agricole montre que le développement de systèmes de culture plus diversifiés ne dépend pas uniquement de leurs propriétés techniques ou agronomiques, mais également du contexte sociotechnique dans lequel ils s'insèrent (références disponibles localement, pratiques des acteurs des filières en termes de création variétale ou de collecte, etc.). Comme pour toute innovation, comprendre les dynamiques de spécialisation ou de diversification passe donc par une compréhension des mécanismes de « verrouillage » des « systèmes sociotechniques » (Akrich et al., 1987; Arthur, 1989; David, 1985).

Le « verrouillage technologique » désigne le mécanisme par lequel une technologie (nouveau produit, service ou procédé) n'arrive pas à s'imposer malgré une efficacité reconnue. La technologie précédente reste la norme par des mécanismes d'auto-renforcement qui se sont créés autour d'elle au cours du temps : la formation des acteurs, l'accumulation des connaissances, des technologies complémentaires (Arthur, 1989; David, 1985), mais aussi les liens qui structurent les filières (Fares et al., 2012; Meynard et al., 2018, 2013). Ces mécanismes, décrits dans plusieurs secteurs économiques, accroissent le coût d'adoption d'une nouvelle technologie jusqu'au risque de la disqualifier complètement quand les changements qu'elle implique sont en rupture très importante avec l'organisation du « système sociotechnique », i.e. un ensemble d'acteurs en interaction, leurs pratiques, leurs savoirs, leurs réseaux, les normes ou les procédures qu'ils partagent, tous facteurs interdépendants qui gouvernent les choix technologiques (Rip and Kemp, 1998).

Dans le cas des systèmes agricoles, des travaux relativement nombreux se sont attachés à analyser les mécanismes par lesquels un système sociotechnique se verrouille, freinant le développement d'innovations aux propriétés pourtant intéressantes : diversification des cultures (Le Bail et al., 2014; Meynard et al., 2018, 2013), alternatives aux pesticides (Guichard et al., 2017; Lamine, 2011; Vanloqueren and Baret, 2008; Wilson and Tisdell, 2001), expansion des légumineuses à graines (Magrini et al., 2016), développement des innovations agroécologiques (Vanloqueren and Baret, 2009). D'autres travaux se focalisent sur la manière dont les verrouillages impactent les stratégies et les pratiques d'acteurs des systèmes agricoles : organismes de conseil (Labarthe, 2010), filières aval (Fares et al., 2012).

Les principaux obstacles à la diversification des cultures mis en avant par la littérature dédiée à l'étude des systèmes sociotechniques sont les suivants : (1) au niveau de l'amont des filières, de faibles investissements dans la sélection variétale et dans le développement ou l'autorisation de produits phytosanitaires pour les espèces mineures (Magrini et al., 2016; Meynard et al., 2013; Vanloqueren and Baret, 2008); (2) au niveau des organismes de collecte et de stockage, les coûts de transaction élevés associés au traitement de faibles

volumes, et la compétition avec les espèces majeures pour l'utilisation des infrastructures, généralement conçues pour traiter un faible nombre de cultures et de larges volumes (Magrini et al., 2013; Meynard et al., 2013; Morel et al., 2020); (3) au niveau des transformateurs et des distributeurs, des spécifications et des processus de transformation conçus pour les espèces majeures; les produits issus de la diversification entrent en compétition avec des produits moins chers ou plus standardisés, en particulier dans le secteur de l'alimentation animale (Charrier et al., 2013; Meynard et al., 2018; Morel et al., 2020); (4) au niveau du conseil agricole, de faibles investissements dans la R&D sur les cultures mineures et dans la production de références locales sur ces cultures; (5) enfin, de manière transversale, le manque de coordination entre les acteurs des nouvelles filières, qui n'ont pas l'habitude de travailler ensemble, freine le développement de la diversification des cultures, notamment en décourageant les investissements de long terme dans les espèces mineures, et en limitant le partage d'informations entre les différents maillons des filières (Fares et al., 2012; Magrini et al., 2016; Meynard et al., 2013; Morel et al., 2020). Morel et al. (2020) mettent également en évidence la difficulté de trouver des marchés pour les produits issus des cultures de diversification, en lien avec la visibilité et l'intelligibilité des enjeux et des bénéfices de la diversification pour les consommateurs. Ces différents freins se renforcent les uns les autres : c'est parce que les espèces de diversification couvrent peu de surface qu'elles sont peu étudiées, peu sélectionnées, peu recherchées par les transformateurs et que les coûts de transaction les concernant sont élevés. Ces handicaps se traduisent par une productivité faible et des prix relativement bas, ce qui n'incite pas les agriculteurs à accroître les surfaces. Tous ces mécanismes d'auto-renforcement sont donc interdépendants, systémiques : c'est tout le régime sociotechnique agricole qui est organisé autour des grandes espèces (Meynard et al., 2018).

Synthèse de la section 1 de la problématique

La littérature fait émerger cinq enjeux pour la diversification des cultures au niveau de l'exploitation agricole : l'accès aux circuits de commercialisation et de transformation pour les produits de la diversification; l'accès à des connaissances et références sur les cultures mineures; l'adéquation entre les systèmes de culture diversifiés et les ressources productives de l'exploitation agricole; les apprentissages des agriculteurs nécessaires à leur maîtrise de systèmes de culture plus diversifiés; et l'accès à des intrants et semences adaptés aux cultures et aux contextes de production.

Au niveau des systèmes sociotechniques, les freins à la diversification sont liés aux faibles surfaces des espèces mineures. Ces freins concernent tous les maillons des filières et sont interconnectés dans le cadre d'une situation de verrouillage liée à la spécialisation autour de quelques espèces dominantes. La transition vers des agroécosystèmes diversifiés appelle donc à reconcevoir les systèmes agricoles et alimentaires, à travers une transformation des activités des agriculteurs, mais également des filières, du conseil agricole, et des rapports entre ces systèmes agricoles et les territoires.

Nous allons nous intéresser dans la suite de cet état de l'art aux approches permettant de caractériser ces transformations et leurs leviers, au niveau des exploitations agricoles (2) et des interactions entre les exploitations agricoles et les systèmes sociotechniques (3), avec les outils et méthodes de l'agronomie.

2 LES CHANGEMENTS DE PRATIQUES DES AGRICULTEURS

2.1 Les pratiques des agriculteurs, objet d'étude de l'agronomie

L'objet de recherche central de cette thèse est le processus de diversification des cultures dans l'exploitation agricole. On postule en effet que l'étude fine de ce processus, dans des exploitations agricoles variées, nous permettra d'identifier des leviers actionnables par les agriculteurs et par les acteurs des territoires pour mettre en œuvre et pour accompagner ce processus de diversification à une échelle plus large.

La caractérisation du processus de changement vers une diversification des cultures dans l'exploitation agricole renvoie, dans un premier temps, à l'analyse des pratiques des agriculteurs et à la compréhension des logiques d'action sous-jacentes à ces pratiques. L'étude des déterminants des pratiques, à la fois internes et externes à l'exploitation agricole, est en effet centrale dans les approches relevant de l'agronomie système ou des *farming systems research* (Darnhofer et al., 2012 ; voir figure 2).

Dans ces approches, les concepts de système de culture et d'itinéraire technique sont centraux. Les agronomes appellent système de culture « *l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière identique. Chaque système se définit par : (1) la nature des cultures et leur ordre de succession, (2) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés* » (Sebillotte, 1990). Un itinéraire technique correspond à une « *combinaison logique et ordonnée de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée* » (Sebillotte, 1974).

Système de culture et itinéraire technique renvoient à un ou plusieurs objectifs, internes ou externes à l'exploitation agricole, guidant les pratiques, et à des logiques d'action qui découlent de ces objectifs, de l'expérience de l'agriculteur concerné, et des ressources productives : conditions et contraintes biophysiques, main d'œuvre et organisation du travail, équipement... « *Ainsi, le système de culture est une suite ordonnée de cultures et d'actes techniques dans laquelle l'agronome décèle une logique et une gestion adaptative en vue d'objectifs. C'est cette cohérence reconnue entre opérations culturelles qui fait système. Il s'agit donc clairement d'une conceptualisation par l'agronome de ce que pratique l'agriculteur sur des parcelles cultivées de manière identique* » (Papy, 2013).

L'étude des pratiques des agriculteurs repose ainsi sur le postulat que l'on peut considérer la parcelle et l'exploitation agricole comme des « systèmes complexes pilotés » (Landais et al., 1988; Salembier et al., 2016) où les pratiques de l'agriculteur sont, à un temps t , en cohérence avec ses objectifs et avec sa perception des contraintes qui s'appliquent à ce système.

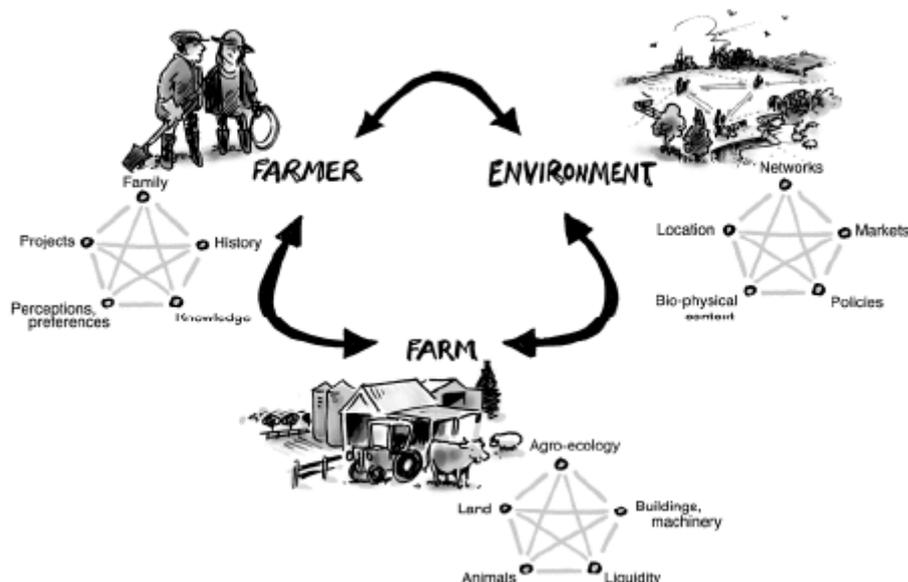


Figure 2 : Trois catégories d'éléments en interactions dans les *farming systems*. Source : Darnhofer et al. (2012).

2.2 Les changements de pratiques au cours du temps : l'étude des trajectoires

L'étude des pratiques des agriculteurs a principalement été mobilisée pour caractériser ces pratiques à un moment donné de l'histoire de l'exploitation agricole, ou pour caractériser un changement ponctuel de ces pratiques. La compréhension des évolutions des pratiques au cours du temps, en lien avec les logiques d'action qui y sont associées, fait appel à des concepts et à des méthodes permettant d'enrichir et d'adapter l'étude des pratiques. Nous explorons dans cette section les travaux caractérisant les trajectoires de changement de pratiques des agriculteurs. Nous reviendrons par la suite sur la question des motivations (2.3) et des processus (2.4) sous-jacents à ces changements de pratiques.

L'analyse des changements de pratiques des agriculteurs sur le moyen ou long terme passe généralement par leur description sous forme de trajectoire, où l'évolution des pratiques est découpée en une succession de phases stables ou linéaires, et de phases de changement ou points de bifurcation (Chantre et al., 2015; Dupré et al., 2017; Lamine, 2011; Mawois et al., 2019; Sutherland et al., 2012; Wilson, 2008).

Lamine (2011) propose de caractériser les trajectoires d'agriculteurs évoluant vers l'agriculture biologique ou la protection intégrée des cultures de la façon suivante : « *des étapes temporelles, constituées de phases successives délimitées par des événements particuliers, des décisions ou des changements relatifs aux dimensions techniques et gestionnaires, à la commercialisation, des processus d'apprentissage, et des interactions avec différents réseaux* »³. Pour Chantre et al. (2015), la caractérisation des trajectoires de

³ "Farmers' trajectories are depicted as temporal stages with successive phases whose boundaries are specific events, decisions or changes regarding technical and managerial dimensions, marketing, learning processes, and interactions with diverse networks."

changement technique vers la réduction d'intrants a pour objectif « *d'identifier les changements techniques et de les organiser pour mettre en évidence les changements clés qui ont eu lieu dans la conduite du système de culture* »⁴. Plus globalement, on peut donc considérer la trajectoire comme la description chronologique ou séquentielle des pratiques des agriculteurs, et de leurs transformations.

Il ne s'agit pas de caractériser dans leur ensemble les pratiques des agriculteurs, mais bien de s'intéresser aux pratiques et aux changements de pratiques pertinents au regard de l'objet de recherche considéré (ici la diversification). Partant de ces changements de pratiques, de la modification d'un élément donné du fonctionnement de l'exploitation agricole, on cherche à rendre compte (i) des transformations que ces changements entraînent pour d'autres éléments du fonctionnement de l'exploitation (Brédart and Stassart, 2017), et (ii) de l'évolution des logiques d'action sous-jacentes. Si l'analyse des trajectoires de changement concerne le plus souvent, dans les travaux récents, la réduction des intrants ou la transition vers l'agriculture biologique, certains de ces travaux ont élargi la gamme des transitions et des pratiques considérées, et caractérisé des trajectoires vers l'agroécologie (Dupré et al., 2017) ou vers l'insertion de légumineuses dans les systèmes de culture (Mawois et al., 2019).

Les trajectoires sont le plus souvent appréhendées comme une succession d'états entre lesquels les agriculteurs opèrent des changements (Figure 3.a). Pour Moulin et al. (2008), la notion de trajectoire d'une exploitation agricole renvoie à une succession dans le temps d'états stables du système de production (ensembles cohérents de pratiques, ou phases de cohérence), alternant avec des périodes de changement qui peuvent être plus ou moins longues et présenter une rupture plus ou moins importante par rapport à l'état précédent. Emilia Chantre décrit quant à elle une « phase de cohérence agronomique » de l'exploitation comme une phase de vie de l'exploitation durant laquelle les pratiques agronomiques et les règles de décisions de déclenchement de ces pratiques sont stabilisées.

Les états stables ou phases de cohérence sont souvent normées, afin de situer les pratiques sur une échelle d'avancement qui varie en fonction de l'objet d'étude. Différentes autrices (Chantre et al., 2015; Lamine, 2011; Mawois et al., 2019) s'inspirent par exemple du cadre efficacité-substitution-reconception (ESR, d'après Hill and MacRae, 1996) pour évaluer l'avancement des pratiques vers la réduction d'intrants ou l'introduction de légumineuses. Certains auteurs enrichissent ce cadre jusqu'à intégrer la santé des agroécosystèmes ou des systèmes alimentaires dans la définition des étapes de transition (Gliessman, 2016; Tiftonell, 2014; cités par Deguine et al., 2021). Les phases de changement sont, elles, caractérisées par les motivations ou les « événements déclencheurs » qui les ont provoquées, et par les processus d'apprentissage qui s'y jouent (voir 2.3 et 2.4 ci-dessous).

Cette représentation des trajectoires comme une alternance de phases stables et de phases de changement permet, en décrivant les pratiques et l'exploitation agricole de manière systémique à chaque phase, rend compte des différentes dimensions du changement. Elle permet également de rendre compte des effets de « mémoire », c'est-à-dire du fait que l'histoire des systèmes de culture et de production (en termes d'investissements et de choix de production par exemple) conditionne leur évolution future.

⁴ "to capture the technical changes and organize them in order to identify key changes occurring in the systemic management of the cropping system"

Les approches séquentielles présentent cependant des limites, qui ont été soulevées notamment par Brédart et Stassart (2017) et par Padel et al. (2019). Principalement mobilisées pour étudier des évolutions de pratiques vers la réduction des pesticides (protection intégrée des cultures) et vers l'agriculture biologique, elles sont moins adaptées à des changements de pratiques où, plutôt qu'une transition vers un système donné, les transformations possibles sont multiples et l'avenir ouvert (Stirling, 2015; d'après Brédart and Stassart, 2017).

Certains auteurs utilisent le suivi d'un ou plusieurs indicateurs pour caractériser les trajectoires de changement (Figure 3.b). Cette manière de caractériser le système au cours des trajectoires, plus rare, pourrait s'avérer plus adaptée lorsqu'il n'est pas possible de classer les pratiques a priori (Padel et al., 2019), sous réserve de choisir les bons indicateurs (Madelrieux et al., 2018). Wilson (2008) définit ainsi un *transitional pathway*, que l'on peut traduire par « *trajectoire de transition* », comme « *des régimes de transition relativement linéaires sur certaines périodes (c'est-à-dire où les règles de décision pour la gestion de l'exploitation ne changent pas ou peu), interrompus par des changements soudains, parfois radicaux, dans la direction prise par la transition* »⁵. Cette trajectoire de transition est matérialisée par l'évolution d'un indicateur de multifonctionnalité de l'exploitation. Cette proposition reste cependant très abstraite puisque l'approche proposée par Wilson n'est pas appliquée à des trajectoires réelles d'exploitations. Plus récemment, Dupré et al. (2017) ont proposé un indicateur de gestion agroécologique pour suivre les trajectoires d'exploitation en calculant cet indicateur à des intervalles de temps fixés. De la même manière que dans les approches séquentielles, la caractérisation des trajectoires par un ou des indicateurs permet de comparer des ensembles de trajectoires, éventuellement de dégager une typologie de trajectoires similaires, et de caractériser les déterminants associés à ces différentes trajectoires.

Le concept de trajectoire nous fournit donc un cadre pour analyser la diversification des cultures comme une succession dans le temps de différentes logiques d'action – associées à différentes pratiques ou ensembles de pratiques. Il permet de porter un éclairage sur la nature et sur la temporalité du changement.

Figure 3 : Représentation de trajectoires d'exploitations agricoles vues comme (a) une succession de phases de cohérence et de phases de changement, ou (b) l'évolution d'un indicateur au cours du temps.

⁵ "relatively linear transitional patterns for certain periods of time (i.e. little or no change in farm management decisions), interrupted by sudden, at times dramatic, changes in transitional direction."

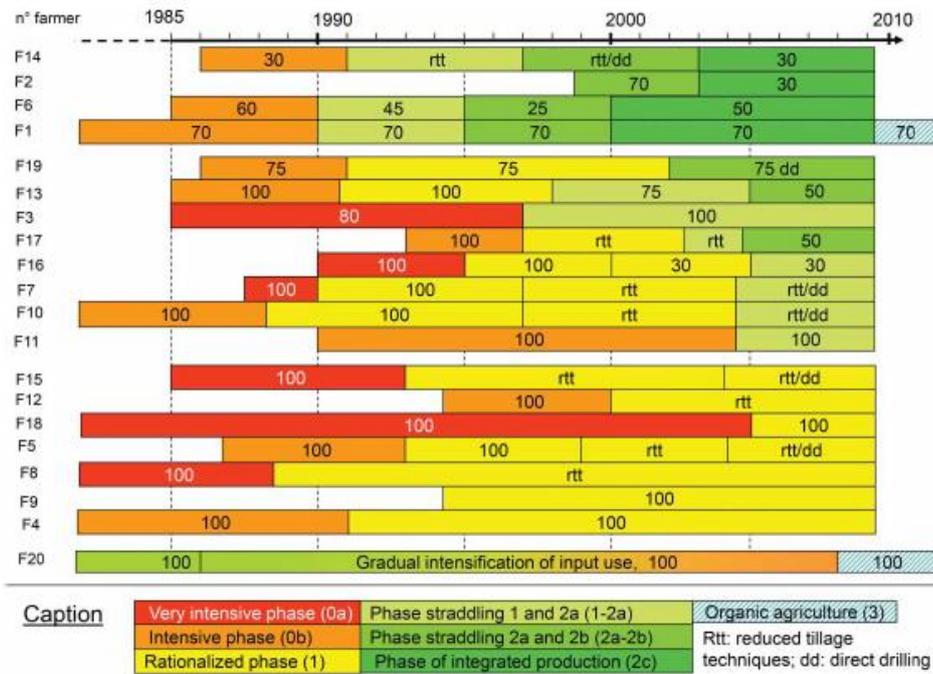


Figure 2. Formalized trajectories for all 20 farmers in the sample. Note: Each rectangle, symbolizing an agronomic-coherence phase within a trajectory, shows the coherence phase colour and the percentage of the UAA ploughed during the phase (for example, 70 signifies that 70% of the UAA was ploughed and that the remaining 30% was under reduced-tillage techniques). When there is no tillage at all, the farmer uses reduced-tillage techniques that can be combined with direct drilling.

(a) Représentation des trajectoires d’exploitations agricoles vers la réduction de l’utilisation d’intrants comme des successions de phases de cohérence agronomique, chaque phase étant caractérisée par un niveau de réduction d’intrants (de 0 à 3). Source : Chantre et al. (2014). UAA =SAU = Surface Agricole Utile.

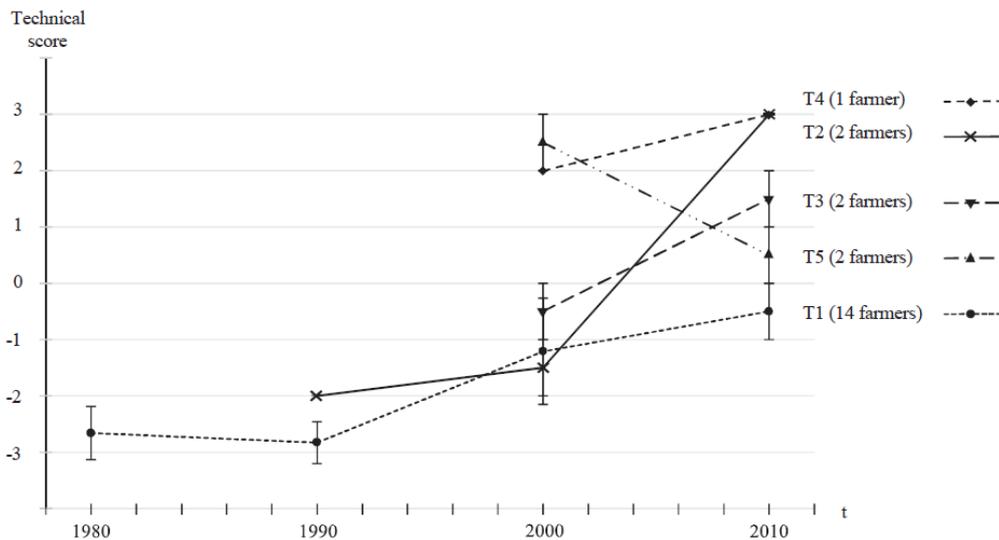


Fig. 3. Evolution of the "technical score" per trajectory of practice change from 1980 to 2010: T1 "Addition"; T2 "OF conversion"; T3 "Simplification"; T4 "Complexification"; T5 "Reversion". Time is on the X-axis. The Y-axis represents the average value of the "technical score" of the farmers belonging to a same type of trajectory.

$$Eq. 1: TechnicalScore = \sum_{i=1}^3 (A_i - C_i)$$

i = index of management dimension (Protection; Fertilization; Weed control)

A_i = 1 if at least one alternative technique is implemented for dimension *i*; 0 otherwise

C_i = 1 if at least one synthetic input is used for dimension *i*; 0 otherwise

Bars indicate standard deviations.

(b) Représentation des trajectoires d’exploitations agricoles vers l’agroécologie comme l’évolution d’un indicateur de gestion agroécologique, caractérisé sur un pas de temps de 10 ans. Source : Dupré et al. (2017).

2.3 Les déterminants des changements de pratiques : l'étude des motivations des agriculteurs

L'analyse des trajectoires d'exploitations (c'est-à-dire de la chronologie des changements) s'accompagne, pour comprendre les logiques d'action sous-jacentes et leurs évolutions, d'une caractérisation des déterminants de ces changements. On parle alors dans la littérature de *drivers* (moteurs ou motivations), de *triggers* ou de *triggering events* (éléments ou événements déclencheurs) influant sur les trajectoires (Lamine, 2011; Padel et al., 2019; Sutherland et al., 2012). Plusieurs travaux (par exemple Dupré et al., 2017; Mawois et al., 2019) s'intéressent en particulier à la diversité des motivations à l'origine des changements, et à la manière dont elles s'expriment dans différentes trajectoires de changement, cherchant ainsi à répondre au « pourquoi » de ces changements. Ils soulignent l'importance, lorsque l'on s'intéresse à un changement même ponctuel, de le replacer dans le contexte plus global de l'évolution de l'exploitation pour comprendre le type de trajectoire poursuivie par celle-ci, et les moteurs qui guident les évolutions de pratiques des agriculteurs. Yvoz et al. (2020) soulignent que l'étude de l'évolution des pratiques sur le long terme permet non seulement de comprendre les stratégies des agriculteurs, mais aussi les transformations de ces stratégies.

Les travaux sur les déterminants des changements mettent en évidence la complexité des motivations qui amènent les agriculteurs à changer (Darnhofer et al., 2005; Marr and Howley, 2019; van Vliet et al., 2015). Ces motivations, généralement appréhendées à travers des entretiens avec les agriculteurs, ne sont pas limitées à des considérations économiques (marge par hectare, retour sur investissement, satisfaction d'un client...), mais peuvent concerner de nombreux autres traits du fonctionnement de l'exploitation (Cusworth et al., 2021; Périnelle et al., 2021; Salembier et al., 2016), tels que la réduction du temps ou de la pénibilité du travail, la réduction de pollutions, la maîtrise de l'extension de bioagresseurs invasifs, la sécurité alimentaire, l'autonomie de décision, ou même le plaisir de raisonner en agronome, plutôt que mettre en œuvre des solutions pensées par d'autres.

2.4 Comment se font les changements de pratiques : l'étude des processus

En complément de la description des changements et de leurs motivations, nous nous intéressons ici aux travaux qui proposent d'analyser la manière dont se font ces changements. Comme le soulignent Blesh et Wolf (2014), la plupart des travaux qui s'intéressent aux transitions à l'échelle des exploitations agricoles cherchent avant tout à comprendre les raisons qui conduisent les agriculteurs à modifier leurs pratiques : le *pourquoi* des changements. Peu de travaux en revanche étudient *comment* se font les processus de changement. Nous allons ici nous intéresser à différents angles d'approche adoptés par des travaux en agronomie, souvent interdisciplinaires, qui s'intéressent aux processus de changement, le terme de processus renvoyant à la progressivité de ce changement, au sein duquel on peut distinguer plusieurs étapes.

2.4.1 Changement et processus de mobilisation de ressources

L'évolution d'un élément du système de production (par exemple, un changement dans les successions de cultures) peut conduire à des reconfigurations au niveau de l'exploitation et de ses relations avec son environnement (Delecourt et al., 2019; Navarrete et al., 2012; Reckling et al., 2020). L'évolution des pratiques de l'agriculteur fait alors appel à la mobilisation d'une diversité de ressources. Blesh et Wolf (2014) proposent ainsi d'analyser le processus de changement sur les exploitations agricoles comme un processus de mobilisation de ressources par les agriculteurs, qui permet le changement, en se basant sur ce qu'ils appellent le modèle d'innovation basée sur les ressources (*resource-based model of innovation*) d'après Wolf et Primmer (2006). Ces auteurs identifient alors, dans les trajectoires de changement des exploitations, des ressources à la fois internes et externes à l'exploitation agricole, qui sont mobilisées de manière combinée par les agriculteurs. Les ressources internes comprennent des ressources écologiques, des ressources productives de l'exploitation, ou des ressources cognitives, tandis que les ressources externes consistent en des réseaux d'agriculteurs, des organismes « *détenteurs de savoirs* » (*knowledge organizations*), et des politiques agricoles. Lambrecht et al. (2014) se focalisent plus particulièrement sur les interactions des agriculteurs faisant évoluer leurs systèmes avec ce qu'ils appellent des « *partenaires d'innovation* » (*innovation partners*), concluant que « *en fonction de l'étape à laquelle se trouvent les agriculteurs dans leur processus d'innovation et du type d'innovation concerné, différentes ressources, et donc différents partenaires, sont nécessaires* »⁶.

Une approche un peu différente consiste à analyser les processus de changements de pratiques sous le prisme des changements qu'ils impliquent dans le travail et l'activité des agriculteurs. Nettier et al. (2012), étudiant la transition d'exploitations vers un mode de production biologique, montrent que celle-ci s'accompagne de changements dans l'organisation du travail, dans les rapports au travail, et dans les attentes vis-à-vis du travail. Delecourt et al. (2019) analysent la prise en compte du travail par les agriculteurs au cours de processus de changements de pratiques, et montrent également que cette prise en compte du travail va au-delà des questions de calendriers et de charges de travail. Coquil et al. (2018) proposent d'analyser les changements dans le travail des agriculteurs (et d'autres acteurs) associés à des transitions vers l'agroécologie pour intégrer les approches agronomiques « *techno-centrées* » et ergonomiques « *anthropo-centrées* ». Cette analyse consiste entre autres à caractériser les entités de gestion, les routines d'action, les indicateurs qui permettent aux agriculteurs de simplifier ce qui apparaît au premier abord complexe, pour mettre en œuvre leurs évolutions de pratiques.

2.4.2 Changement, savoirs et processus d'apprentissage

Les termes de *connaissances* et de *savoirs* se traduisent tous les deux en anglais par *knowledge*, mais ont des acceptions différentes en français dans les travaux scientifiques sur la connaissance. Toffolini (2016) explicite ainsi la distinction entre ces deux termes : « *dans les épistémologies constructivistes (Le Moigne, 2002), la connaissance est décrite comme incorporée à celui qui connaît. C'est une construction de sens interne à l'individu, un processus qui se développe dans et par l'expérience. La connaissance est donc ineffable, et le savoir en*

⁶ "depending on the stage in the innovation journey and the type of innovation, different resources and hence different partners are needed"

est une traduction, une forme représentée et transmissible, pour une communication entre individus porteurs de connaissances. » Ces deux notions sont également distinctes de celle d'*information*, qui désigne le contenu des connaissances ou des savoirs : « *De même, la connaissance se distingue, pour les constructivistes, de l'information qui, même si les définitions sont variées en fonction des disciplines (Magne, 2007), renvoie généralement à une combinaison de données organisées. Le savoir serait alors l'intermédiaire entre l'information, et la construction de connaissances par l'acteur* » (Toffolini, 2016).

De nombreux travaux de recherche montrent l'importance des connaissances et savoirs produits par les agriculteurs (Šūmane et al., 2018), et leurs spécificités par rapport aux savoirs scientifiques (Franz et al., 2010; Girard, 2015; Sutherland and Marchand, 2021; Toffolini et al., 2017), en particulier dans le cas de pratiques agroécologiques (Chizallet et al., 2019; Compagnone et al., 2018) : les connaissances produites et mobilisées par les agriculteurs émergent de leur pratique, et sont constamment reconfigurées par celle-ci (Brédart and Stassart, 2017). Les processus de changements de pratiques des agriculteurs impliquent une contextualisation des savoirs « génériques » (formels ou informels) pour les resituer dans le contexte spécifique de chaque exploitation agricole. Cette contextualisation semble plus efficace lorsqu'elle n'est pas seulement le fait des agriculteurs mais passe par des « médiateurs » : conseillers, groupes d'agriculteurs... (Šūmane et al., 2018).

Darnhofer et al. (2010) proposent d'enrichir les approches *farming systems* par la notion de gestion adaptative (*adaptive management*), et de considérer les évolutions des exploitations agricoles comme une coévolution continue des objectifs de l'agriculteur, de l'organisation interne de l'exploitation agricole, et de son environnement, permise par des boucles d'apprentissage. Les processus d'apprentissages nécessaires à l'évolution des pratiques, voire des principes qui guident ces pratiques (Argyris and Schon, 1974), sont une composante majeure des processus de changements de pratiques. Ils sont souvent étudiés à travers des approches qui combinent agronomie et sciences sociales. Les travaux sur les apprentissages des agriculteurs font généralement la distinction entre deux formes d'apprentissage complémentaires : d'une part, un apprentissage par la pratique, à dimension technique ou expérientielle ; d'autre part, un apprentissage par échange avec autrui, à dimension sociale (Cristofari, 2018; Ingram, 2010; Stone, 2016).

L'apprentissage par la pratique est appréhendé à travers la notion d'*expérimentation par les agriculteurs* (Catalogna et al., 2018; Kummer et al., 2017; Lyon, 1996). Cette notion d'expérimentation recouvre à la fois l'idée d'expérimentations planifiées, au sens conventionnel du terme, et d'autres formes d'apprentissage dans le cours de l'action liés à des tests « opportunistes » de la part des agriculteurs, à des essais « fortuits », à des observations. Chantre et al (2014) proposent alors de parler de *formes d'expérience*.

L'apprentissage par échanges avec autrui recouvre une large gamme d'interactions sociales des agriculteurs, incluant le conseil et la formation professionnelle (Ingram, 2008; Ingram et al., 2018) ainsi que les échanges entre pairs (Slimi, 2022; Slimi et al., 2021).

Les travaux s'intéressant aux dynamiques d'apprentissage des agriculteurs, et à leur relation au changement restent rares. Chantre et al. (2014) distinguent trois phases dites d'alerte, d'expérience et d'évaluation : « *Nous proposons donc d'analyser ces combinaisons [d'interactions sociales et de formes d'expérience] en distinguant trois phases successives qui renvoient aux processus d'enquête et de construction du jugement proposés par Dewey (1993) et qui constituent pour nous une façon d'approcher le processus d'apprentissage d'une nouvelle pratique :*

1. la première phase dite de « mise en alerte » correspond à l'émergence d'une idée, soit en réaction à un événement lié à des dynamiques internes (en particulier au niveau de l'agroécosystème, mais aussi lors d'une évolution de la main-d'œuvre disponible par exemple) ou externes (en particulier liées à l'évolution du contexte économique, mais aussi aux débats sur l'agriculture dans la société par exemple), soit en lien avec une veille économique, réglementaire ou technique que l'agriculteur réalise. Cette phase correspond aux trois étapes de perception du problème, de sa détermination ou construction, et de la suggestion de solutions possibles telles que Dewey (1993) les a précisées ;

2. la deuxième, ou « phase d'expérience », permet d'expérimenter l'idée retenue et correspond à l'examen raisonné des suggestions et de leurs conséquences ;

3. la troisième ou « phase d'évaluation », vise à confronter les résultats obtenus grâce à la pratique expérimentée à un référentiel (interne issu de sa propre expérience ou/et externe) qui se décline selon des critères d'évaluation variables, et correspond à la phase de test des hypothèses qui permet la construction du jugement puisqu'à l'issue de cette phase, les agriculteurs peuvent ou non adopter cette pratique. »

Cristofari et al. (2018) font évoluer ce cadre d'analyse en définissant le processus d'apprentissage comme une combinaison dynamique, non ordonnée, d'« éléments d'apprentissage » tels que la conception d'une nouvelle idée de pratique, la mise en œuvre d'une nouvelle pratique, ou la collecte d'informations sur le système. En s'appuyant sur ces caractérisations des processus d'apprentissage des agriculteurs, ces autrices (Chantre et al., 2014; Cristofari et al., 2018) cherchent à identifier comment les jugements pragmatiques des agriculteurs, c'est-à-dire les « énoncés tenus pour vrais » par les agriculteurs et qui guident leurs actions, évoluent au cours de leurs trajectoires de changement de pratiques.

2.4.3 Changement et processus de conception ou de reconception

L'analyse des changements de pratiques des agriculteurs sous l'angle des processus de reconception de leur système a surtout été réalisée récemment, en particulier, par Toffolini et al. (2017, 2016) puis Chizallet et al. (2020). Toffolini et al. (2017, 2016) s'intéressent aux connaissances et aux indicateurs mobilisés par les agriculteurs pour reconcevoir leurs systèmes de culture et les évaluer. Ils cherchent ainsi à mettre en évidence les liens entre, d'une part, les processus cognitifs et décisionnels des agriculteurs, et d'autre part, le fonctionnement du système de production et de ses objets biologiques. Bredart & Stassart (2017), Périnelle et al. (2021), Salembier et al. (2016), et Toffolini et al. (2016) soulignent l'importance des critères d'évaluation des agriculteurs, qui diffèrent en partie de ceux utilisés par les acteurs de la recherche et du développement, pour comprendre les observations des agriculteurs et les interprétations qu'ils en tirent. Les processus de changements de pratiques sont ici rapprochés d'un processus de conception pas-à-pas (Meynard et al., 2012), dans lequel l'actualisation régulière, par l'agriculteur, de ses objectifs, de ses pratiques et de leur évaluation, résulte de processus d'apprentissage et permet une amélioration continue de son système. Plus récemment, Chizallet et al. (2020) ont approfondi la conceptualisation de l'activité des agriculteurs en transition vers l'agroécologie comme une activité de conception. Ces autrices s'appuient sur des *chroniques du changement* dans les exploitations pour reconstituer les processus de conception conduits par les agriculteurs en transition, en les caractérisant comme un dialogue entre le « virtuel », le « concevable » et

le « réel », permettant de mieux saisir les allers-retours entre l'évolution des pratiques des agriculteurs et de leurs logiques d'action.

Synthèse de la section 2 de la problématique

Les pratiques des agriculteurs sont en interaction dynamique avec des déterminants qui s'exercent à différentes échelles de temps, d'espace et d'organisation, et qui relèvent à la fois de la ferme, de l'agriculteur, de l'environnement, et de leurs interactions.

L'agronomie système nous permet de comprendre la cohérence des pratiques des agriculteurs et de leurs déterminants, internes et externes à l'exploitation agricole, et donc de porter un regard systémique sur les changements de pratiques, à travers les concepts de système de production, de système de culture et d'itinéraire technique. Les cadres d'analyse des trajectoires de changement de pratiques et des processus de changement nous fournissent des clés pour caractériser plus finement les changements associés à la diversification des cultures dans l'exploitation agricole, leurs mécanismes, et leurs déterminants.

Nous avons vu cependant qu'une compréhension des interactions dynamiques entre les exploitations agricoles et leur environnement, au niveau des territoires et des filières, est nécessaire pour appréhender de manière plus complète les obstacles et les leviers potentiels à la diversification des cultures.

3 LES CHANGEMENTS DE PRATIQUES DES ACTEURS DES FILIERES AGRICOLES ET DES TERRITOIRES

La question des interactions entre les filières et les pratiques agricoles et l'environnement de l'exploitation est au cœur de cette section. On ne s'intéresse plus ici uniquement aux exploitations, mais bien directement aux relations entre les filières, les territoires et les exploitations agricoles.

3.1 Les interactions entre aval des filières et exploitations agricoles : l'analyse des systèmes d'approvisionnement

Peu de travaux, en agronomie, proposent des cadres d'analyse pour comprendre de manière fine le contenu des interactions entre les agriculteurs et les filières, ainsi que leur impact sur les systèmes de culture des exploitations, et sur les systèmes agricoles des territoires. Le système d'approvisionnement (Le Bail and Le Gal, 2011) constitue un objet multi-échelles, qui traite des interrelations entre :

- (i) le bassin d'approvisionnement, c'est-à-dire les constituants physiques du territoire d'emprise des opérateurs (parcelles, milieux, systèmes de culture, infrastructures de stockage, de tri, de qualification des produits) ;
- (ii) les attentes respectives des agriculteurs et des premiers opérateurs de l'aval (types de productions, volumes, marchés, gestion de la qualité) ;
- (iii) les modalités de coordination (contrats, normes, cahiers des charges) et de circulation des flux physiques et de l'information entre ces acteurs.

L'analyse d'un système d'approvisionnement permet, entre autres, de saisir l'impact des stratégies des acteurs des filières sur les pratiques des agriculteurs (Belmin et al., 2021; Navarrete et al., 2006).

Les travaux d'analyse des systèmes d'approvisionnement soulignent l'importance des modalités de coordination entre agriculteurs et premiers acteurs aval de la filière (Le Bail, 2005; Navarrete et al., 2006). Ces modalités de coordination ont en effet des conséquences fortes sur la manière dont sont décidés « *les objectifs de performance des cultures (...), le choix des zones d'implantation, les techniques agricoles mises en œuvre, et les ressources mobilisées* » (Le Bail, 2012; voir aussi Kadwa and Bezuidenhout, 2015). Pour Faure et al (2010), « *les dispositifs et processus de coordination entre acteurs (...) visent à gérer les interactions et à résoudre les problèmes de risque encourus par les acteurs* », en s'appuyant sur des contrats formels ou informels passés entre ces acteurs. La négociation du contenu de ces contrats est une activité clé dans les interactions entre agriculteurs et aval des filières (Meynard et al., 2018; Navarrete, 2009). Les modalités de coordination au sein des filières ont notamment un impact majeur sur la production et la circulation de connaissances (Cholez et al., 2020), en lien avec les dispositifs de conseil mis en place par les acteurs des filières (Labarthe and Laurent, 2013a).

La réussite du développement de filières de valorisation de cultures de diversification est très liée aux coordinations en place au sein de ces filières, à la fois entre les agriculteurs et les premiers opérateurs de l'aval et entre les premiers opérateurs de l'aval et la suite de la filière. La coordination entre acteurs de la filière est ainsi identifiée comme l'un des leviers

majeurs pour la diversification des cultures (Meynard et al., 2018). La synergie entre les changements de pratiques et les innovations mises en œuvre aux différents maillons de la filière doit permettre d'atteindre beaucoup plus efficacement des objectifs, notamment de durabilité, qui concernent les systèmes agri-alimentaires dans leur ensemble (Meynard et al., 2017).

3.2 Les pratiques des acteurs des filières : l'étude des systèmes sociotechniques et des verrouillages technologiques

L'analyse de l'évolution des pratiques des acteurs des filières et de leurs interactions sur un territoire peut s'appuyer sur les notions d'interactions entre régime dominant et niches d'innovation développées dans la théorie multiniveaux des transitions sociotechniques (*multi-level perspective*) et souvent mobilisée pour analyser les systèmes agri-alimentaires (Nuijten et al., 2017; Meynard et al., 2018; Brunori et al., 2019; Dumont et al. 2020).

Kemp (1994) et Geels (2005, 2002) proposent d'analyser les voies de déverrouillage et l'organisation des transitions en distinguant (i) le « paysage » (*landscape*) constitué par les institutions, les normes sociales, politiques et culturelles qui s'imposent au système sociotechnique standard et le configurent ; (ii) les « niches » d'innovation dans lesquelles « localement » les mécanismes d'auto-renforcement du système sociotechnique dominant n'ont pas cours et qui fonctionnent avec des normes et des règles institutionnelles différentes, ce qui permet un développement d'innovations radicales. Le déverrouillage du système sociotechnique dominant nécessite à la fois une évolution du paysage (un changement des réglementations par exemple), et le développement d'une ou plusieurs niches qui profitent, une fois leurs coûts d'apprentissage amortis, de fenêtres d'opportunité ouvertes par l'évolution du paysage pour s'hybrider avec le système sociotechnique dominant (Geels, 2011; Geels and Schot, 2007).

Plusieurs travaux s'intéressent à la sélection variétale et à la diffusion des innovations variétales comme levier pour le déverrouillage (Lammerts van Bueren et al., 2018; Nuijten et al., 2017; Vanloqueren and Baret, 2008). Nuijten et al. (2017) s'intéressent ainsi, à travers la comparaison de différents cas d'étude, aux pratiques des différents acteurs du régime sociotechnique et de niches d'innovation, et en particulier aux acteurs pouvant être considérés comme « courtiers de l'innovation » (d'après Klerkx and Leeuwis, 2009), c'est-à-dire qui facilitent les interactions et les coordinations entre acteurs des systèmes sociotechniques. Ces travaux permettent notamment de comprendre les interactions entre les organismes de sélection variétale, les fournisseurs d'intrants et le conseil, et les pratiques des agriculteurs. Ils ne mettent cependant pas en lien de manière fine les pratiques des agriculteurs et leurs interactions avec les acteurs de l'amont.

A l'aval des filières, d'autres travaux analysent les pratiques des opérateurs au regard de différentes innovations agricoles, en s'appuyant également sur les concepts de verrouillage technologique et de niches d'innovation. Ce sont généralement des travaux en économie, qui cherchent à caractériser différentes structures organisationnelles (Fares et al., 2012) ou logistiques (Magrini et al., 2013) de filières et leur capacité à « s'adapter » à des pratiques agricoles innovantes. Ces travaux n'étudient pas directement la coévolution des pratiques entre agriculteurs et filières, mais plutôt la compatibilité entre des pratiques agricoles innovantes et différentes structures de filières.

De la même manière que pour les analyses liées aux interactions entre les agriculteurs et les filières, l'analyse des pratiques des acteurs du conseil agricole s'appuie souvent sur des analyses systémiques proches des cadres théoriques des transitions sociotechniques et de la gestion adaptative. Le concept de systèmes de connaissances et d'innovation agricoles (*Agricultural Knowledge and Innovation Systems* ou AKIS) a pour objet la production et l'échange de connaissances, et le développement d'innovations, dans les systèmes agri-alimentaires (Klerkx et al., 2012; Knierim et al., 2015; Labarthe, 2016). Pour saisir la cohérence des pratiques de conseil et leur impact sur les connaissances disponibles et sur les apprentissages des agriculteurs, il apparaît nécessaire de s'intéresser à la fois aux pratiques d'intermédiation des acteurs du conseil, ou *front-office*, et à leurs pratiques de production de références, ou *back-office* (Cerf et al., 2017; Labarthe, 2010).

Synthèse de la section 3 de la problématique

Selon que l'on considère la diversification comme la création et la consolidation de nouvelles filières, ou comme une innovation en rupture avec une spécialisation historique, l'analyse des changements de pratique des acteurs des filières et des territoires peut s'appuyer sur les concepts de système d'approvisionnement ou de système sociotechnique. Ces deux approches sont complémentaires : au niveau du bassin d'approvisionnement, il s'agit de caractériser les logiques d'action et les types d'arrangements entre les agriculteurs et les autres acteurs des filières qui initient ou stimulent les dynamiques de diversification ; au niveau du système sociotechnique, il s'agit de mettre en lumière les stratégies de niche et les voies d'hybridation entre niche et système sociotechnique dominant, susceptibles de favoriser la diversification des cultures, en tant qu'innovation, dans des exploitations et des territoires spécialisés.

4 ORGANISATION DU MANUSCRIT : QUELS LEVIERS POUR DIVERSIFIER LES CULTURES AU NIVEAU DES EXPLOITATIONS AGRICOLES ET DES TERRITOIRES ?

4.1 Positionnement scientifique de la thèse

Le verrouillage autour des espèces cultivées dominantes se traduit par des obstacles systémiques à la diversification, qui s'exercent sur différents éléments du fonctionnement des systèmes agricoles, à différents niveaux des filières, et sur le temps long (1). Identifier des leviers pour surmonter ces obstacles suppose donc de tenir compte des dimensions systémique et dynamique du verrouillage, en vue de comprendre dans quelles conditions, et par quels mécanismes, ces leviers sont mobilisables.

On propose pour cela de s'appuyer sur une analyse compréhensive et rétrospective d'expériences de diversification existantes. Dans l'objectif de mettre à jour une diversité de mécanismes permettant la diversification, et d'identifier des leviers à vocation générique, on cherchera à décrire des expériences de diversification correspondant à des contextes et à des situations contrastées.

C'est au niveau des exploitations agricoles que se prennent les décisions de diversifier – ou non – les systèmes de culture. Les mécanismes qui conduisent à l'évolution des logiques d'action et des pratiques de certains agriculteurs vers la diversification de leurs cultures, et le maintien dans le temps des systèmes de culture diversifiés, seront donc centraux pour notre analyse.

L'analyse du verrouillage autour de systèmes de culture simplifiés met par ailleurs en évidence que la capacité des agriculteurs à diversifier est largement influencée et conditionnée par les caractéristiques des systèmes agricoles desquels ils font partie, en particulier en termes de filières et de structures de conseil. Ces acteurs interviennent en effet dans la constitution de systèmes d'approvisionnement pour les cultures de diversification, et contribuent à l'évolution des connaissances des agriculteurs sur les systèmes de culture diversifiés.

L'objectif de notre travail sera donc d'explorer la question de recherche suivante :

Quelles évolutions des logiques d'action, des connaissances et des pratiques des agriculteurs, en interaction avec quelles évolutions des filières et du conseil agricole, sont à même de soutenir et d'amplifier la diversification des cultures dans les territoires agricoles ?

Nous nous appuyerons pour cela sur la comparaison de situations de diversification aux caractéristiques variables, dans trois territoires européens contrastés.

4.2 Démarche générale et questions de recherche

Pour caractériser une diversité d'expériences de diversification des cultures, et leurs interactions avec les filières et le conseil agricole, nous avons traité trois sous-questions, représentées dans la Figure 4 :

(1) *Comment et pourquoi certains agriculteurs font-ils évoluer leurs pratiques vers la diversification de leurs systèmes de culture, et le maintien de systèmes de culture diversifiés ?*

(2) Comment les interactions entre acteurs des filières, du conseil et agriculteurs peuvent-elles conduire à une diversité de dynamiques de diversification des cultures au niveau des territoires ?

(3) Quelles connaissances nouvelles sont acquises et mobilisées par les agriculteurs au cours de leurs trajectoires de diversification, et par quels processus d'apprentissage élaborent-ils ces connaissances ?

Ces trois sous-questions correspondent à trois chapitres de résultats dont nous présentons les caractéristiques ci-dessous.

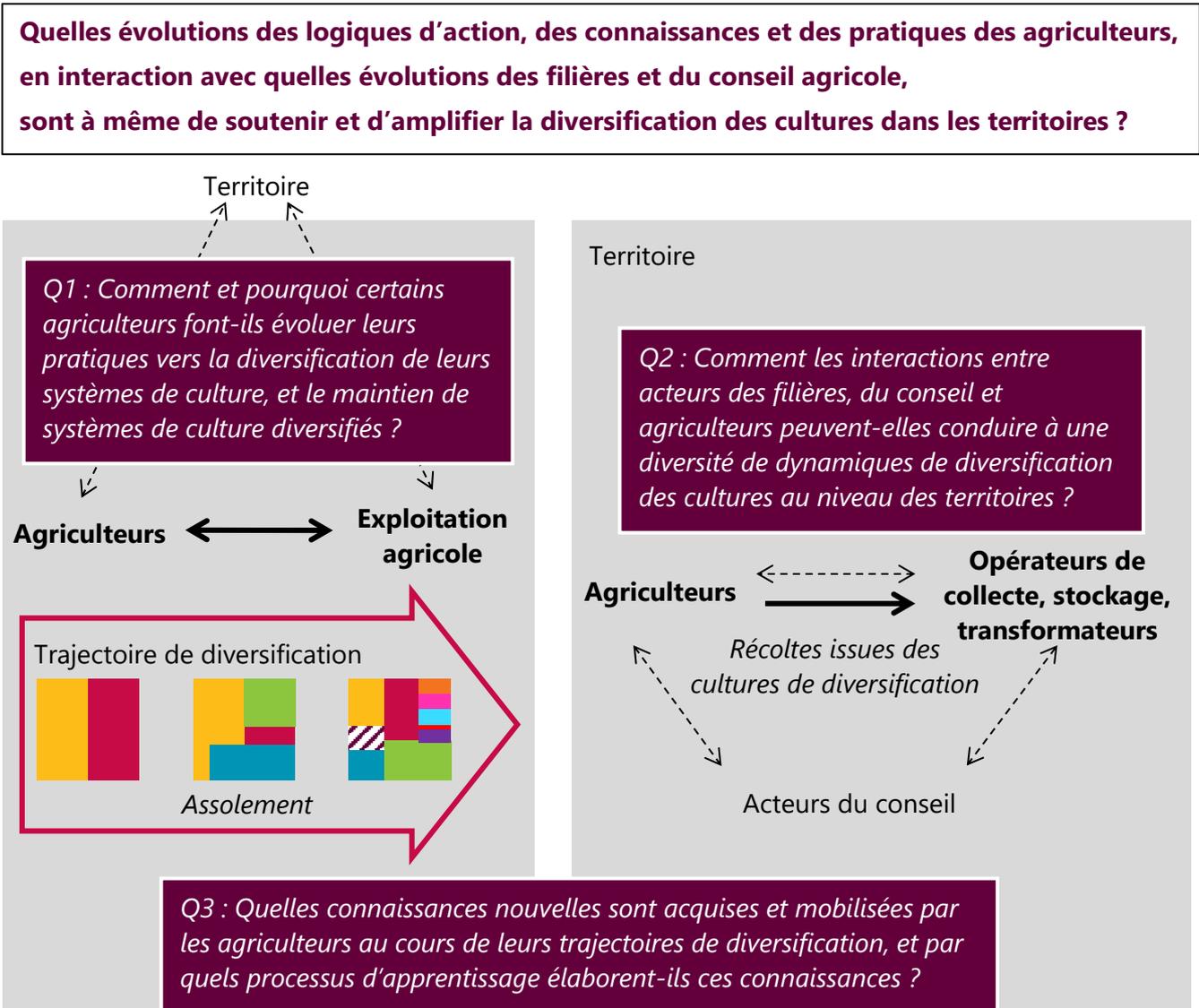


Figure 4 : Question et sous-questions de recherche traitées dans la thèse.

4.2.1 Chapitre 1 : Trajectoires de diversification des cultures dans les exploitations agricoles

Comment et pourquoi certains agriculteurs font-ils évoluer leurs pratiques vers la diversification de leurs systèmes de culture, et vers le maintien de systèmes de culture diversifiés ?

Dans ce premier chapitre, nous cherchons à caractériser le processus d'intégration, par les agriculteurs, de nouvelles cultures à leurs systèmes de culture et de production. Nous nous appuyons pour cela sur l'analyse (i) des trajectoires de changement de pratiques des agriculteurs qui diversifient, (ii) des motivations des agriculteurs sous-jacentes à ces trajectoires de diversification, et (iii) des processus de mobilisation de ressources associés à ces trajectoires de diversification. Pour mettre à l'épreuve la robustesse de nos conclusions, ce travail est réalisé dans trois régions européennes contrastées.

Notre démarche de travail s'appuie sur différents travaux d'agronomes portant sur l'évolution des pratiques des agriculteurs, en particulier les travaux de Chantre et al. (2015) et Dupré et al. (2017) sur les trajectoires d'évolution des pratiques, ceux de Toffolini et al. (2016) sur les motivations et critères d'évaluation des agriculteurs, et ceux de Blesh & Wolf (2014) sur les ressources mobilisées pour reconcevoir les systèmes de culture. Nous conduirons une analyse comparative dans les trois territoires d'étude et pour une diversité d'agriculteurs, en vue de mettre à jour différents types de trajectoires de diversification, et les motivations et ressources associées.

4.2.2 Chapitre 2 : La diversification des cultures au niveau des territoires : influence des interactions entre les filières, le conseil et les exploitations agricoles

Comment les interactions entre acteurs des filières, du conseil et agriculteurs peuvent-elles conduire à une diversité de dynamiques de diversification des cultures au niveau des territoires ?

Dans ce deuxième chapitre, nous cherchons à caractériser les systèmes d'approvisionnement des cultures de diversification, c'est-à-dire l'organisation locale des interactions entre agriculteurs, acteurs des filières et acteurs du conseil, qui conduit à la fois à la diversification au champ et à la diversification des filières afférentes. Nous nous intéressons en particulier à la manière dont ces systèmes d'approvisionnement se combinent sur un territoire donné.

A l'instar de ce qu'ont proposé Le Bail et Le Gal (2011), Navarrete (2009) ou Brunori et al. (2019), nous cherchons ici à articuler l'échelle de l'exploitation agricole (étude des logiques d'action des agriculteurs), et l'échelle des filières (étude des coordinations entre acteurs d'amont et d'aval), pour comprendre les dynamiques de co-évolution des pratiques et des interactions entre acteurs. En comparant 3 territoires européens, nous analysons comment les combinaisons de systèmes d'approvisionnement et les réseaux sociotechniques contribuent aux dynamiques de diversification des territoires.

4.2.3 Chapitre 3 : Apprentissages des agriculteurs au cours de leurs trajectoires de diversification des cultures

Quelles connaissances nouvelles sont acquises et mobilisées par les agriculteurs au cours de leurs trajectoires de diversification, et par quels processus d'apprentissage élaborent-ils ces connaissances ?

Dans ce troisième chapitre, nous cherchons à caractériser les trajectoires de diversification sous l'angle des processus d'apprentissages qu'elles mettent en jeu. Nous nous appuyons pour cela sur une analyse (i) des situations dans lesquelles ces processus d'apprentissage ont lieu, et des connaissances qui en découlent, (ii) des modalités d'élaboration de ces processus d'apprentissage, et (iii) de la combinaison des processus d'apprentissage au cours des trajectoires de diversification des agriculteurs.

Nous nous appuyons sur les travaux de Chantre et al. (2014) et Cristofari et al. (2018) qui cherchent à caractériser les processus d'apprentissage des agriculteurs et la manière dont ces apprentissages interviennent dans des trajectoires de changements de pratiques. La comparaison des processus d'apprentissage d'agriculteurs aux trajectoires de diversification contrastées nous permet d'identifier différents styles d'apprentissage associés à la diversification des cultures et leur rôle dans les trajectoires de diversification. Cette étude n'est réalisée que dans une seule des trois régions d'étude, la Vendée (et zones limitrophes).

4.3 Une étude de la diversification dans trois régions européennes : dispositif de recherche

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du programme européen (H2020) DiverIMPACTS, visant à promouvoir la diversification des systèmes de culture en Europe, en s'appuyant notamment sur un réseau de « cas d'étude » correspondant à des collectifs d'acteurs (composés d'agriculteurs et parfois d'autres acteurs des systèmes agri-alimentaires) engagés dans des projets de diversification. Ces cas d'étude interviennent dans différentes régions européennes dont les systèmes agricoles présentent des caractéristiques contrastées (voir notamment Morel et al., 2020, annexe 1).

Au-delà des collectifs impliqués dans le programme DiverIMPACTS, récemment constitués et souvent encore peu diversifiés au début de notre travail d'enquête, nous avons cherché à étudier des territoires où étaient présentes une diversité de cultures mineures, afin de disposer d'une perspective suffisante sur les processus de diversification, en termes de durée et de nombre d'acteurs concernés. Nous avons cherché à couvrir, au sein et entre les territoires d'étude, plusieurs cultures, plusieurs types de diversification (rotation, associations de culture...), et plusieurs types de valorisation des produits de ces cultures, dans l'objectif d'observer des situations contrastées, ainsi que de potentielles compétitions sur les ressources (temps, matériel, investissements...) à l'échelle d'une exploitation agricole ou d'un territoire.

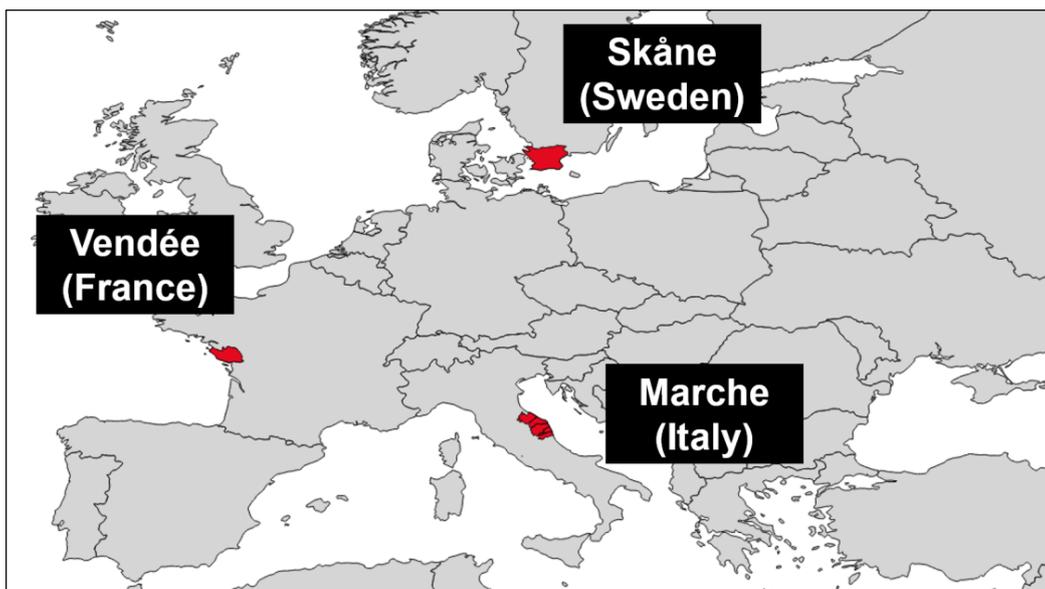


Figure 5 : Localisation des trois territoires d'étude.

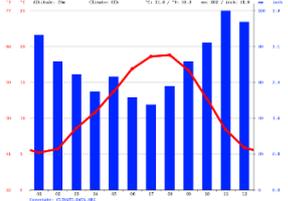
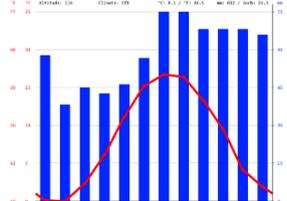
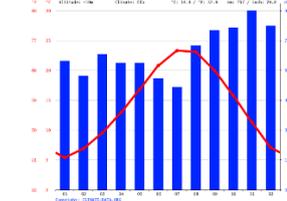
Nous avons retenu trois territoires d'étude (Figure 5) répondant à ces critères : la Vendée (France), la Scanie (Suède) et les Marches (Italie). Les principales caractéristiques pédoclimatiques et agricoles de ces territoires sont présentées dans le Tableau 1 ci-dessous. Il s'agit de régions côtières présentant un climat humide, relativement doux, à tendance océanique (« tempéré chaud » dans les Marches). Dans les trois régions, les sols bruns limoneux peu hydromorphes dominent.

Les systèmes de culture vendéens sont dominés par le maïs et le blé (blé tendre en majorité, blé dur dans certaines zones), avec des monocultures de maïs dans la zone de plaine au sud du territoire, et des systèmes maïs-blé tendre, éventuellement accompagnés de prairies temporaires et de cultures fourragères pour les élevages ruminants, dans les zones de bocage. Le principal acteur de l'aval sur le territoire est une coopérative dont le territoire d'activité couvre plusieurs départements. Quelques négoce dont le rayon d'action est variable sont également présents, mais de manière plus minoritaire en termes de volumes. Les structures de développement agricole sont nombreuses, de taille variée, et proposent à la fois des services de conseil individuel et l'animation de groupes de développement.

Les systèmes de culture dominants en Scanie sont basés sur des rotations de type colza-blé-blé ou colza-blé-orge (blé tendre d'hiver, orge de printemps). L'élevage y est beaucoup moins présent qu'en Vendée. Le principal acheteur de l'aval est une coopérative nationale, avec d'autres coopératives ou négoce plus petits présents localement sur le territoire. Le conseil agricole est principalement assuré par trois structures privées ou parapubliques, auprès desquelles les agriculteurs souscrivent des services de conseil, souvent individuels.

Les systèmes de culture des Marches sont largement dominés par le blé dur. Le tournesol est également très présent sur le territoire. Sauf sur les hauteurs, l'élevage est peu présent. Les principaux acteurs de l'aval sont les *consorzi* - un réseau de coopératives - et différents négoce. Les structures de développement agricole sont peu développées, avec des structures de conseil gérées par les syndicats agricoles plutôt tournées vers l'appui administratif et comptable, et quelques services de conseil privés souvent proposés par des conseillers indépendants.

Tableau 1 : Principales caractéristiques pédoclimatiques et agricoles des trois territoires d'étude

Territoire	Vendée	Scanie	Marches
Climat^b	Océanique La-Roche-sur-Yon : T° moyenne 11,8°C Précipitations moyennes 802 mm	Océanique/ continental Malmö : T° moyenne 8,1°C Précipitations moyennes 612 mm	Océanique/ tempéré chaud Ancône : T° moyenne 14,4°C Précipitations moyennes 757 mm
			
Sols dominants^c	Cambisols Limons	Cambisols Limons	Cambisols Limons
SAU totale^a	480 000 ha	496 000 ha	472 000 ha
SAU moyenne*	86 ha	54 ha	11 ha
Part des cultures arables dans la SAU	55 %	89 %	82 %
Place de l'élevage	Forte présence d'élevage à la fois ruminant et monogastrique sur la majorité du territoire (hors plaine au sud)	Elevage principalement localisé dans le nord du territoire (forêts)	Elevage principalement localisé dans l'ouest du territoire (moyenne montagne)
% SAU en AB*	4,5 %	7 %	14 %
Cultures principales*	Blé tendre, maïs, blé dur	Blé tendre, orge, colza	Blé dur, tournesol
SdC dominants^d	Maïs > blé ou monoculture de maïs	Colza > blé, Colza > blé > (bett. >) orge...	Tournesol > blé dur
Principaux acteurs des productions végétales^d	1 coopérative, quelques négoce	1 coopérative d'échelle nationale, quelques coopératives ou négoce plus petits	« Consorzi » : réseau de coopératives, quelques négoce
Contexte de conseil	Diversité de structures (Chambre d'agriculture et GEDA, coopératives, réseaux et associations de développement agricole, ...)	2-3 structures privées ou parapubliques, coopérative	Peu développé ; consultants privés

S'inscrivant dans la définition proposée par le programme européen DiverIMPACTS, on entend par « diversification des cultures » un ensemble de stratégies qui résultent en une plus grande diversité spatiale et temporelle de cultures à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation agricole et du territoire. Dans un contexte de systèmes de production de

cultures annuelles, ces stratégies sont (1) la rotation : cultiver différentes espèces, sur la même parcelle, successivement, durant les différentes saisons culturales ; (2) les cultures multiples : cultiver différentes espèces, sur une même parcelle, successivement, au sein d'une même saison culturale ; (3) les cultures associées : cultiver différentes espèces en association, au sein d'une même parcelle (en mélange, en rangs ou en bandes). Au niveau d'un territoire, la diversification se traduit par le développement des surfaces de cultures qui représentent une faible surface de production sur ce territoire.

Afin de pouvoir analyser comment les relations avec les opérateurs des filières et les usages des produits de la diversification hors de l'exploitation influencent le processus de diversification au sein de l'exploitation agricole, nous avons choisi d'étudier, dans ces territoires d'étude, des agriculteurs valorisant leurs cultures de diversification (ou une partie de celles-ci) hors de l'exploitation agricole.

Le détail des modalités d'entretiens (modalités de recueil des données, nature des données recueillies) sera développé dans chaque chapitre de résultats.

PARTIE 2 : RÉSULTATS

CHAPITRE 1. TRAJECTOIRES DE DIVERSIFICATION DES CULTURES DANS LES EXPLOITATIONS AGRICOLES

Ce chapitre correspond à un article accepté dans la revue Agricultural Systems. L'introduction de ce chapitre est en partie redondante d'éléments donnés dans l'introduction générale et la problématique de recherche.

RESUME : Les systèmes de culture diversifiés sont l'un des piliers de pratiques agroécologiques, mais leur développement est freiné par un verrouillage technologique des systèmes agri-alimentaires autour de quelques cultures principales. On ne trouve que quelques exemples de cultures mineures qui se développent et se stabilisent avec succès dans une région agricole donnée. Les processus de changement sous-jacents à ces situations sont peu connus. Notre article s'appuie sur des expériences réussies de diversification des cultures, en analysant pourquoi et comment des exploitations évoluent vers des systèmes de cultures diversifiés, dans l'objectif d'identifier des leviers pour soutenir la diversification des cultures. Nous avons sélectionné trois régions en Europe (la Vendée en France, les Marches en Italie, et la Scanie en Suède) où sont présentes des cultures mineures, et réalisé des entretiens dans 33 exploitations où ces cultures ont été récemment introduites. Les entretiens avaient pour objectif de retracer les trajectoires de diversification des cultures des exploitations, et les déterminants de ces trajectoires. Nous avons demandé aux agriculteurs d'expliquer leurs motivations à diversifier leurs cultures, et les ressources qu'ils ont mobilisées pour le faire. En utilisant une combinaison de variables décrivant l'évolution de la diversité des cultures et le comportement des agriculteurs vis-à-vis des cultures de diversification, nous avons classé statistiquement les trajectoires de diversification en trois types distincts.

Les trois types de trajectoires de diversification identifiés diffèrent sur les aspects suivants : leurs dynamiques d'évolution de la diversité des cultures ; les niveaux de diversité des cultures atteints ; et la nature des processus de changement qui les soutiennent. Les agriculteurs du type 1 diversifient lentement, en s'appuyant sur des comparaisons culture par culture. Ils mobilisent peu de ressources externes. Les agriculteurs du type 2 diversifient de manière régulière, en introduisant quelques cultures mineures sur des surfaces importantes. Ils sont motivés par des attentes à la fois économiques et agronomiques ou liées au travail, et soutenus par les acteurs de l'aval achetant les productions. Les agriculteurs du type 3 diversifient de manière rapide et importante, motivés par des attentes agronomiques sur les bénéfices de la diversité des cultures à l'échelle de la succession de cultures. Ils cherchent à bénéficier de marges de manœuvre et de flexibilité dans leurs décisions en mobilisant une diversité de débouchés et de réseaux.

Nous analysons pour la première fois la diversification des cultures comme un processus de changement sur le long terme (dix à vingt ans) dans les exploitations, à travers la comparaison de trois régions européennes contrastées. Nos résultats montrent que la diversification des cultures doit se faire de manière adaptée aux problématiques agronomiques, économiques et de travail des agriculteurs, en particulier à l'échelle des systèmes de culture et de l'exploitation. Les débouchés des cultures de diversification doivent être réfléchis en termes des ressources et de l'autonomie qu'ils proposent aux agriculteurs.

1 INTRODUCTION

Crop species diversity is a fundamental component of sustainable and resilient farming systems (Altieri, 1999; Kremen et al., 2012; Renard and Tilman, 2019). Combined with a coherent set of practices, it can better control weed populations (Weisberger et al., 2019), reduce disease and pest pressure in the field (Ratnadass et al., 2011; Storkey et al., 2019), better regulate biogeochemical cycles (Dwivedi et al., 2017; Kremen and Miles, 2012), and promote the reduction of economic risks at the farm level (Li et al., 2019).

There is however a simplification and regional specialization of cropping systems in Europe and throughout the world (Abson, 2019; Salembier et al., 2016; Zander et al., 2016) which leads to technological lock-in around the main cultivated crop species (IPES Food, 2016; Magrini et al., 2016; Meynard et al., 2018). For farmers, this translates into barriers to crop diversification in all the following: accessing inputs, appropriate knowledge and references; marketing and processing channels; organizing productive resources; and managing the uncertainty and complexity induced by a diversification of cropping systems (Casagrande et al., 2017; Morel et al., 2020; Roesch-McNally et al., 2018a).

The effects of different types of crop diversification on biodiversity and ecosystem services are under scrutiny (Beillouin et al., 2021). Potential pathways to crop diversification have been explored for cover crops (Lavoie et al., 2021; Roesch-McNally et al., 2018b) or integrated crop-livestock systems (Kronberg and Ryschawy, 2019; Ryschawy et al., 2017). This paper contributes to exploring crop diversification pathways with a focus on diversification with cash crops, for which less literature is available, and especially on the processes through which obstacles to cash crop diversification can be overcome. Local experiences with cash crop diversification do nevertheless exist. In Europe, several of these experiences have been identified in the H2020 DiverIMPACTS research program. In this paper, we analyze the crop diversification processes associated with a variety of these diversification experiences and then propose ways to support such processes. The literature has not yet reported any similar studies.

There is ample literature on the analysis of change in agriculture, which provides methodological tools to analyze processes such as crop diversification. The process of change in farmers' practices can be described in terms of a transitional pathway corresponding to the chronological description of these practices and their transformations, and in terms of the drivers that triggered and enabled these changes (Lamine, 2011).

Studies of transitional pathways through a farming systems approach (as described by Darnhofer et al., 2012; or Landais et al., 1988) take as their starting point a technical change and focus on its relationship with the different aspects of the farm's functioning. These approaches give an account of the transformations that follow the modification of a given element of the farm and that then continue on to transform the other elements of this farm (Brédart and Stassart, 2017). As Yvoz et al. (2020) point out, a study of the long-term evolution of practices is necessary to understand not only the farmers' strategies, but also the transformations of these strategies. In our study, we defined crop diversification pathways (both with cash and non-cash crops) as a process of introducing new annual crops and thus of increasing the overall number of species grown on a farm (as opposed to substituting one species for another). This pathway takes place over time scales of several years and is manifested in a set of practices that result in greater spatial and temporal diversity of crops at the plot and farm level.

Crop diversification is not an "end in itself" for farmers, and previous studies have underlined the complexity of the drivers that lead farmers to change their practices (Darnhofer et al., 2005; Marr and Howley, 2019; van Vliet et al., 2015). These drivers can be explored through interviews with farmers to analyze their motivations to change – which can range from economic considerations to soil-related objectives or many other aspects of the farm's functioning (Cusworth et al., 2021; Salembier et al., 2016). A given change in practices (for example, a change in crop rotation) may also involve reconfigurations at the level of the farm and of its relationships with its environment (Delecourt et al., 2019; Navarrete et al., 2012; Reckling et al., 2020). The redesign of a farmer's practices thus requires the mobilization of a variety of resources, both internal (e.g. farm-enterprise resources, cognitive resources) and external (e.g. relations with peers, knowledge organizations) to the farm (Blesh and Wolf, 2014).

The objective of this article is to analyze the diversity of crop diversification pathways and their drivers on farms in three regions in Europe that have diversified their annual field crops. We wanted to understand why and how these farmers were able to implement crop diversification practices, to adapt them to their systems and to sustain them. To do so, we analyzed their crop diversification pathways (technical change over time), as well as the farmers' motivations for implementing these changes, and the resources that they mobilized to overcome obstacles. We focused our analysis on the study of minor crops that are marketed off the farm.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Study areas

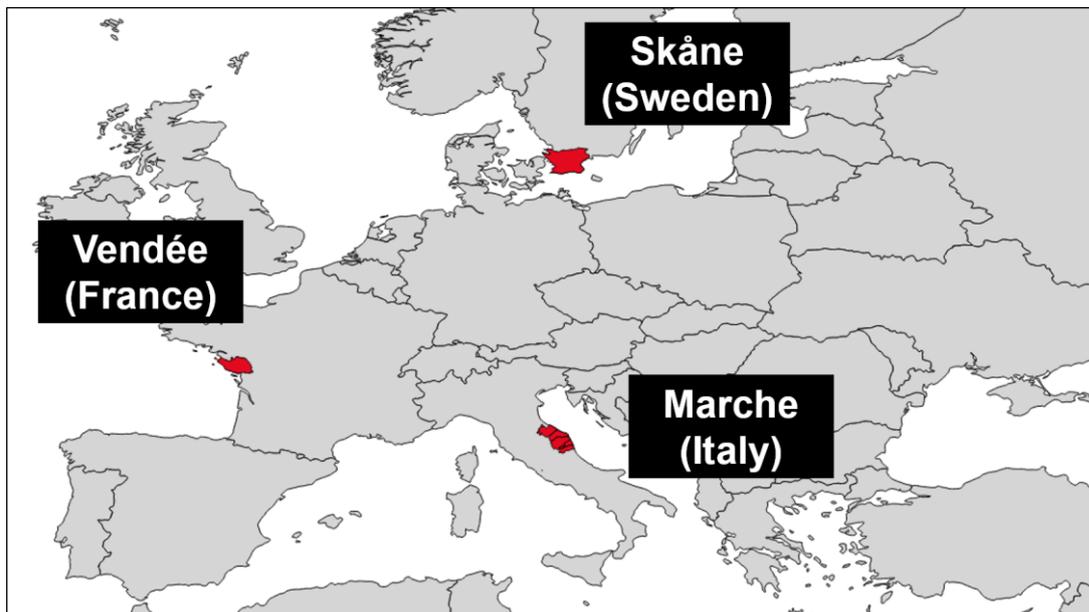


Figure 6: Location of the study areas (© EuroGeographics for administrative boundaries)

We analyzed the crop diversification pathways of farmers located in three regions with contrasting institutional, market and agricultural advisory contexts, where several diversification crops were already present: the Vendée *département* (administrative unit NUTS 3) in France, the province of Skåne (NUTS 3) in Sweden, and the Marche region (NUTS 2) in Italy (see

Figure 6).

These three European regions all have a mild and humid oceanic climate, with an increasing gradient of temperatures from Skåne to Marche. Both ruminant (cattle) and monogastric (chickens, pigs, ducks, rabbits) livestock are prevalent in Vendée, while the regions of Skåne and Marche mainly produce cereals. Farms in the Marche region often have secondary olive or vine production. The size of farms varies widely from one region to another, with an average of 11 hectares of utilized agricultural area in Marche, 65 hectares in Skåne and 86 hectares in Vendée⁷. The main arable crops in these regions are wheat (soft wheat in Skåne, durum wheat in Marche, both soft and durum wheat in Vendée) and, on smaller areas than wheat, one or two spring or summer crops (maize in Vendée, sunflower in Marche, spring barley and sugar beet in Skåne), as well as rape in Skåne. A diversity of value chains is present in the three regions, with short chains more developed in Marche, and chains more concentrated around a single downstream operator in Vendée.

⁷ Source of statistical data:

- For Skåne: Jordbruks verket, 2020 data.
- For Vendée: Agreste, 2016 data.
- For Marche: Istat, 2010 data.

2.2 Analytical framework

This section presents the analytical framework that was used to characterize farms' crop diversification pathways and their drivers.

Crop diversification pathways refer to how crop diversity changed over time on farms. They were characterized through a set of variables aimed at comparing a diversity of farms, notwithstanding the heterogeneity of crop diversification pathways in terms of duration, number of changes in practices and crops involved. These variables consisted mostly in variables of the evolution (relative change and average annual change) of crop diversity on the farm (Table 2.a). Drawing on biodiversity indicators (Bockstaller, 2018; Bockstaller et al., 2011), we considered not only the farm's richness in crop species (*total number of crops*), but also their proportional abundances, using the *Shannon index* and *Simpson's reciprocal index (crop diversity in rotation index)*. We identified the main crops in each region (see definitions of "main crops" and "diversification crops" below) and characterized their relative presence on the farms over time. We used 3 variables that account for the fact that crop diversification pathways may not be linear: *backtracking*, *number of crops tested*, *continuation rate* (Table 2.b).

The **drivers** of crop diversification pathways refer to farmers' motivations to implement technical changes affecting crop diversity on their farms, and to the resources they mobilized to implement these changes. They were characterized through an inductive analysis of farmers' description of their crop diversification pathways. This inductive analysis allowed us to group farmers' motivations to diversify into three main categories. In a similar way, three categories of resources mobilized by farmers to diversify were identified, and we characterized whether the resources mobilized were internal or external to the farm. These qualitative variables were complemented with four variables characterizing the structure of the farm at the time of the interview (see Table 2.c and d).

We defined as **main crops** the crops considered as standard by the local actors of each study area. These crops individually accounted for more than 10% of the arable surface of the region and their cumulated surface accounted for more than 70% of this surface. This corresponded to:

- for Vendée, soft wheat (37%), maize (19%) and durum wheat (14%): 70% in total;
- for Skåne, soft wheat (34%), barley (24%) and rape (14%): 72% in total;
- for Marche, durum wheat (56%) and sunflower (17%): 73% in total.

We defined as **diversification crops** in each region all the crops other than the main crops of this region. Some of the variables we used to characterize diversification pathways focus on the evolution of the number or share of **diversification cash crops** (Table 2.a), thus excluding service crops or crops used to feed the farm's livestock.

The area considered for the analysis of each diversification pathway, which we called **cash-crop oriented area**, was the farm's area devoted to cropping systems that include cash crops. It thus excluded permanent grassland areas or areas exclusively dedicated to products other than field crops (on-farm livestock feeding, horticulture, arboriculture, perennial crops, etc.), but could include non-cash crops grown in the same fields or in rotation with cash crops.

The **starting point** of the crop diversification pathway was defined, depending on the farmer's ability to describe the history of their farm: either by the first change from a very

simplified system (main crops of the region only) to a system where one or more diversification cash crops were introduced (going back to the 1990s at the latest); or by the earliest change related to diversification cash crops that the farmer was able to describe. The **ending point** of the crop diversification pathway was defined as the last year where a change in crop diversity occurred on the farm. We referred to the state of crop diversity on the farm at this ending point, acknowledging that the crop diversification process might go on after the interview.

Table 2 : Variables used to characterize crop diversification pathways and their drivers

Variables characterizing crop diversification pathways	
a. Crop diversity (variables: relative change and average annual change)	Total number of crops
	Number of diversification cash crops
	Share of diversification cash crops in the total number of crops
	Share of diversification cash crops in the cash-crop oriented area
	Share of main crops in the cash-crop oriented area
	Shannon index ($H = - \sum p_i * \ln(p_i)$ with $p_i =$ proportion of species i)
	Crop diversity in rotation index (Simpson's reciprocal index) ($1 / D = 1 / \sum p_i^2$) ⁸
b. Behavior of farmers with respect to diversification cash crops	<i>Backtracking</i> : Occurrences of area reduction or cessation of a diversification cash crop, relative to the duration of the pathway
	<i>Number of crops tested</i> : Average number of diversification cash crops tested each year. This is the total number of diversification cash crops introduced for at least one year on the farm during the diversification pathway, related to the duration of the pathway
	<i>Continuation rate</i> : Proportion of diversification cash crops still present on the farm at the time of the survey among all the diversification cash crops tested during the pathway or already present at the beginning of the pathway
Variables characterizing the drivers of crop diversification pathways	
c. Qualitative variables	Farmers' motivations for crop diversification
	Resources mobilized by farmers to diversify
d. Structural variables	<i>Region</i> : Region where the farm is located (Vendée, Skåne or Marche)
	<i>UAA</i> : Utilized Agricultural Area of the farm
	Presence or absence of livestock on the farm
	<i>Production method</i> : Organic, conventional or mixed

2.3 Selection of farmers

Our sample was composed of 33 farms (15 in Vendée, 8 in Skåne, 10 in Marche, Table 3) that were widely diverse in terms of crop species, diversification "levels", and relationships with value chains. We selected farmers in the three regions that had introduced diversification cash crops on their farms in the past 5 to 15 years, to trace their practice change processes in detail. To select these farms, we used a variety of sources and then

⁸ Voir livrable du WP4 du programme Diverimpacts : Bockstaller, Christian. (2018). DiverIMPACTS Indicator factsheet: Crop Diversity Index [DiverIMPACTS Indicator # 7.1]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2268165>

adopted a snowball sampling method, in which the names of the first farmers who had diversified were given by several local agricultural advisors from different institutions in each region. Then, based on our first interviews, the farmers surveyed were asked to give the names of peers who had recently diversified their crops. The farms selected were those for which the characteristics of the sample vary in terms of production orientation, marketing channels, and diversification crops introduced. Thus, rather than being representative, the final sample was designed to capture a wide range of crop diversification situations and therefore their underlying mechanisms.

Table 3: Structural characteristics of farms in the study areas and the surveyed sample⁹

Study area	Vendée	Skåne	Marche
Main crops	Soft wheat	Barley	Durum wheat
	Maize	Soft wheat	Sunflower
	Durum wheat	Rape	
Average UAA (region)	86 ha	54 ha	11 ha
% arable crop area	55%	89%	82%
% organic UAA	4.5%	7%	14%
<i>Sample characteristics:</i>			
Number of farms surveyed	15 farms	8 farms	10 farms
Average UAA (sample)	182 ha	398 ha	135 ha
Farms with livestock	11	2	4
Organic farms	2	2 (+2 mixed)	7

2.4 Interviews and processing of interview data

We conducted a semi-structured interview on each farm in the sample between November 2018 and October 2020. The interviews were all carried out by the same interviewer, in French (Vendée), Italian (Marche) or English (Skåne), with the support of a native speaker when necessary. They lasted about 2 hours and were recorded. Farmers were asked to describe the process of crop diversification on their farm, and questioned when necessary in order to obtain the information described in Chapter 1 §2.2. Specifically, this consisted of: (1) identifying the diversification crops (both cash and non-cash crops) grown by the farmers in recent years and tracing the pathway of crop diversification, i.e., the significant changes in the farm's cropping pattern over time; (2) asking the farmers to explain the motivations that justified these changes; and (3) asking them to explain the difficulties encountered during the process and the resources they mobilized to overcome them¹⁰. A summary of each farm's crop diversification pathway and its drivers was written, then used to inform the

⁹ Source of statistical data:

- For Skåne: Jordbruks verket, 2020 data.

- For Vendée: Agreste, 2016 data.

- For Marche: Istat, 2016 data.

¹⁰ Voir guide d'entretien auprès des agriculteurs en annexe 2.1

quantitative and qualitative variables listed in Table 2. The drivers of crop diversification pathways, i.e. farmers' motivations and the resources mobilized, were characterized through an inductive analysis of the interview content: we progressively grouped the data into more and more general categories through a constant comparison between the different pathways.

2.5 Statistical classification of pathways

The diversity of the 33 crop diversification pathways studied was characterized by a principal component analysis (PCA) performed on the pathway characterization variables presented above (Table 2.a and b). A hierarchical clustering on principal components (HCPC) based on the first two dimensions of the PCA was then used to identify groups of diversification pathways with similar crop diversity evolutions. The number of clusters selected corresponded to the partition with the higher relative loss of inertia. The statistical analyses were performed in R (v1.4.) with the help of the packages FactoMineR, factoextra and MissMDA.

3 RESULTS

3.1 Crop diversity levels at the start and end of the crop diversification pathways

The diversification pathways studied comprised from 2 to 26 years, with an average of 8.5 years. The dynamics of crop diversification on the surveyed farms was reflected in the increase of the average Shannon index from 1.51 to 2.31. The average number of crops increased from 3.6 to 7.3 (+0.6 crops per year). The average proportion of diversification cash crops in the cash-crop oriented area increased from 15% to 41% (+5 points per year). The start of the diversification process could be associated with a farmer's arrival on the farm, or occur several years afterwards. Many farmers considered their cropping system not to be stabilized at the time of the interview, meaning that the diversification process was still on-going.

The initial number of crops was quite homogeneous in the sample. Most farms already had one diversification cash crop (17 farms) or more (7 farms) at the beginning of their pathway. The other farms either had diversification crops for on-farm feed (associated with varying degrees of crop diversity), or only grew main crops. The heterogeneity of crop diversity levels between the farms was greater at the time of the survey. The total number of crops on the farms varied from 3 to 15, with between 0% and 96% of the cash-crop oriented area occupied by main crops.

The diversity of the crop diversification pathways studied was reflected in the presence of 46 different diversification cash crops identified in all of the pathways. Of these 46 crops, 10 were common to all three study areas, and 15 to two study areas. Legumes were the most common diversification crop family on the farms surveyed and presented the greatest variety of species. Crop diversity was higher in Marche in terms of the number and surface area of diversification cash crops, and in Skåne in terms of the number of crops (Table 4).

Table 4: Crop diversity in the three regions studied, at the start and end of crop diversification pathways

Study area	Vendée	Skåne	Marche	Min	Max	All
Number of farms surveyed	15	8	10			33
Number of DCCs identified	26	26	22			46
Number of crops per farm (start)	3.7	4.1	3.1	1	7	3.6
Number of crops per farm (end)	6.4	8.1	7.9	3	15	7.3
Number of diversification cash crops (start)	1.2	1.1	0.7	0	5	1
Number of diversification cash crops (end)	3.6	4.5	5.4	0*	11	4.4
Number of crops tested	4.2	6.6	6.2	1	15	5.4
Share of DCCs in cash-crop oriented area (start)	13%	21%	13%	0%	50%	15%
Share of DCCs in cash-crop oriented area (end)	32%	35%	61%	0%*	85%	41%
Share of main crops in cash-crop oriented area (start)	76%	74%	53%	0%	100%	68%
Share of main crops in cash-crop oriented area (end)	56%	57%	22%	0%	96%	46%

DCC: diversification cash crop. The values correspond to the average of the sample in each study area. The sum of main crops and diversification cash crops is not always 100% as there can be diversification non-cash crops in the rotations of the cash-crop oriented area. *One farm had no diversification cash crop at the end of their pathway as they had decided to discontinue the diversification cash crop they were growing in the year of the interview.

3.2 Diversity of crop diversification pathways

The evolutions of crop diversity between the starting and ending point of the farms' pathways were diverse. The principal component analysis of the variables characterizing these pathways allowed us to identify two dimensions that explained 67% of the variance (Supplementary material S.1, S.2¹¹). The 33 crop diversification pathways surveyed fell into three groups with distinct crop diversity evolution dynamics (Table 5; Table 6.a), highlighted by the hierarchical clustering on principal components (Figure 7 ; Table 5 ; Supplementary material S.3). Farm S8, identified as Cluster 4 in the hierarchical classification, was grouped with Cluster 3 as it presented the same characteristics as this group but with extreme values (from 1 to 8 diversification cash crops, +3.5 crops per year: see Figure 8).

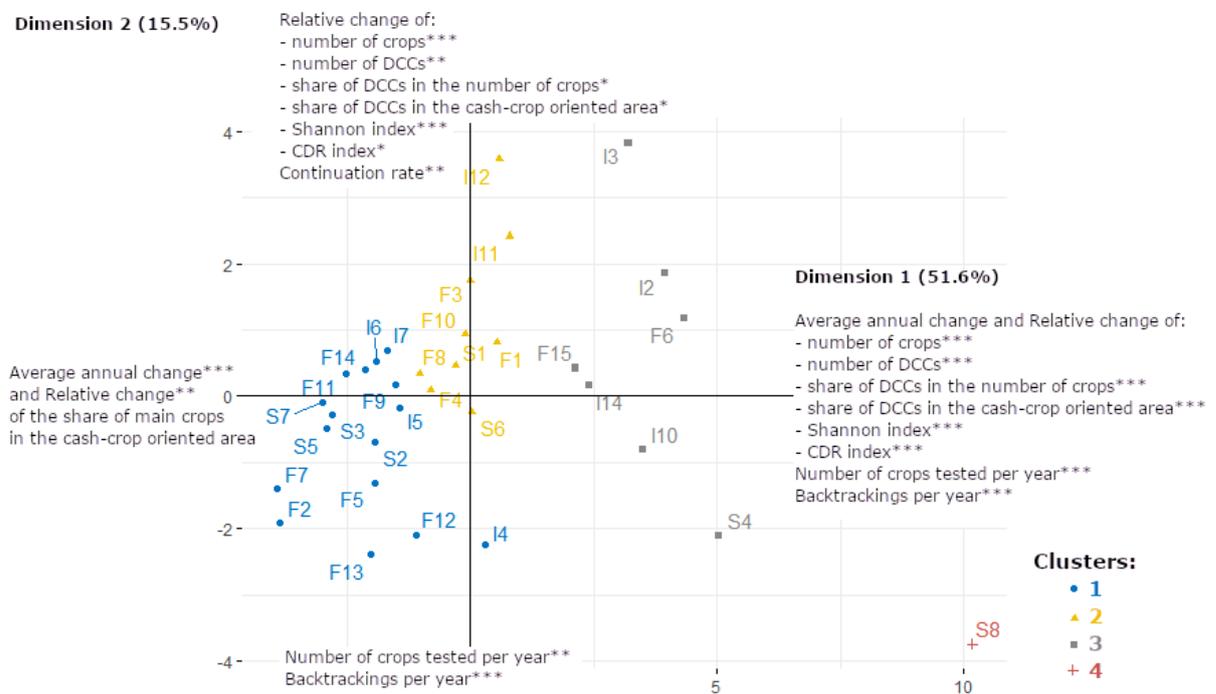


Figure 7: Distribution of the 33 crop diversification pathways along the first two dimensions of the Principal Component Analysis, and their repartition in clusters

The variables correlated to each dimension are indicated (*P < 0.05, ** P < 0.01, *** P < 0.001). DCCs: diversification cash crops. CDR index: Crop diversity in rotation index. Cluster 4 only corresponds to Farm S8 and was grouped with Cluster 3.

¹¹ Supplementary material : voir annexe 3

Table 5: Characteristics of the four clusters of crop diversification pathways

Variable		Cluster			
		1	2	3	4 (S8)
Total number of crops	Relative change	x1.4***	x2.5	x3.6***	x2.8
	Average annual change	+0.2**	+0.5	+1.35**	+3.5***
Number of diversification cash crops	Relative change	x2.1***	x5.4	x6.8**	x8
	Average annual change	+0.2**	+0.4	+1.1*	+3.5***
Share of diversification cash crops in the total number of crops	Relative change	x1.4***	x2.1	x2.3*	x2.9
	Average annual change	+0.03*	+0.04	+0.1*	+0.24**
Share of diversification cash crops in the cash-crop oriented area	Relative change	x1.6***	x2.9	x4.2***	x4.1
	Average annual change	+0.02*	+0.04	+0.1	+0.26***
Share of main crops in the cash-crop oriented area	Relative change	x0.8*	x0.6	x0.5	x0.5
	Average annual change	-0.02**	-0.04	-0.08**	-0.18**
Shannon index	Relative change	x1.3***	x1.7	x2.2***	x1.8
	Average annual change	+0.04**	+0.1	+0.32**	+0.76***
Crop diversity in rotation index	Relative change	x1.3***	x1.9	x2.5***	x2.6
	Average annual change	+0.09*	+0.24	+0.95	+2.9***
Backtracking / duration of the pathway		0.4	0.3	0.8	1.5*
Number of crops tested / year		0.5*	0.6	1.8**	4***
Continuation rate		59%*	83%	73%	89%

*P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001.

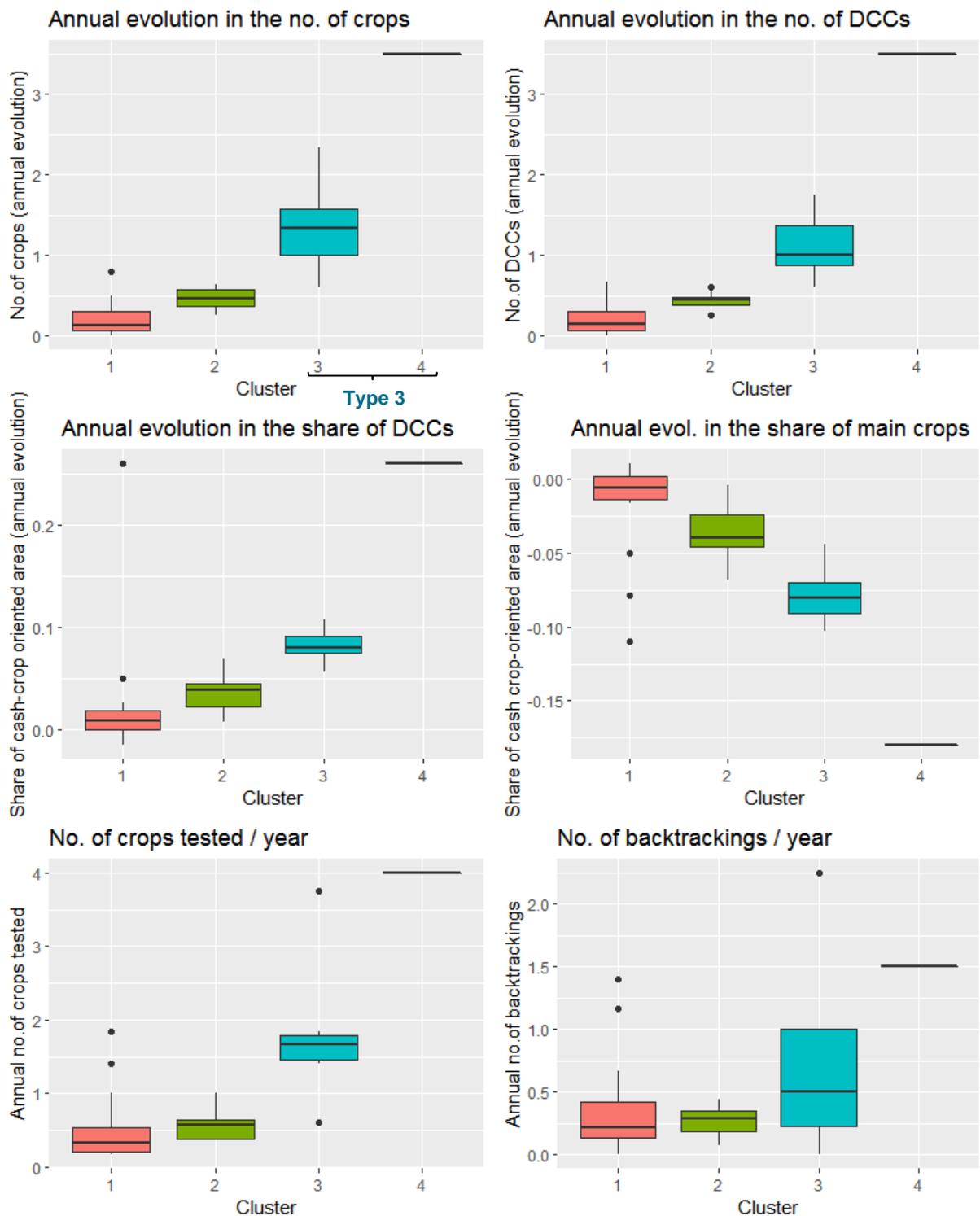


Figure 8: Comparative evolutions of crop diversity in the four clusters of crop diversification pathways

The variables are the annual evolution in (1) the number of crops, (2) the number of diversification cash crops, (3) the share of diversification cash crops in the cash-crop oriented area, (4) the share of main crops in the cash-crop oriented area, and the annual average of (5) the number of crops tested and (6) the number of backtracking events. *DCCs*: diversification cash crops. Cluster 4 corresponds to the pathway of farm S8, that we grouped with Cluster 3.

3.2.1 Type 1: Low or slow diversification

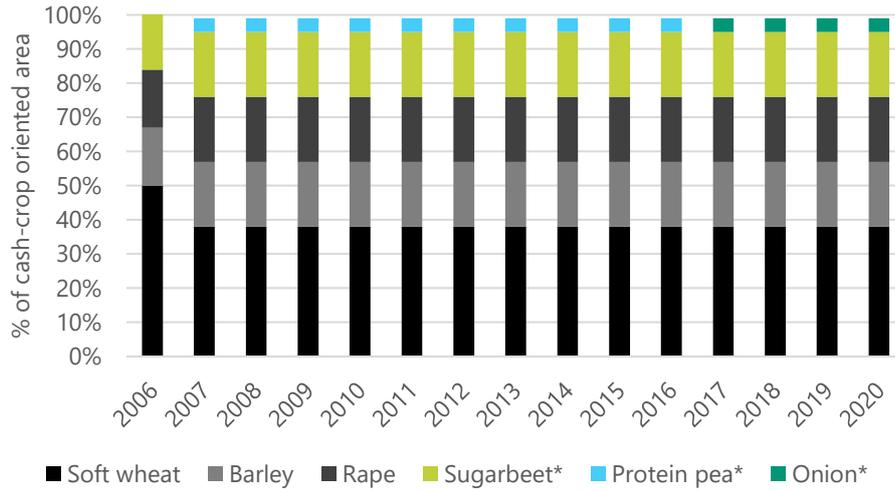
Type 1 (see example in Figure 9.a) corresponded to 16 diversification pathways where the share of main crops in the cash-crop oriented area decreased little over time (Table 5; Figure 8), from 59% to 52% of the area. The levels of diversity achieved were lower than in the rest of the sample: an average of 5.5 crops, including 2.6 diversification cash crops (Table 6.a). Farmers generally introduced one or two diversification cash crops into their crop rotation (+1.5 crops on average), corresponding to a new crop every five years, with 1 crop tested every 2 years (Table 5; Figure 8). Diversification cash crops covered 31% of the area, around 10% each (Table 6.a).

3.2.2 Type 2: Increase in the area of diversification cash crops

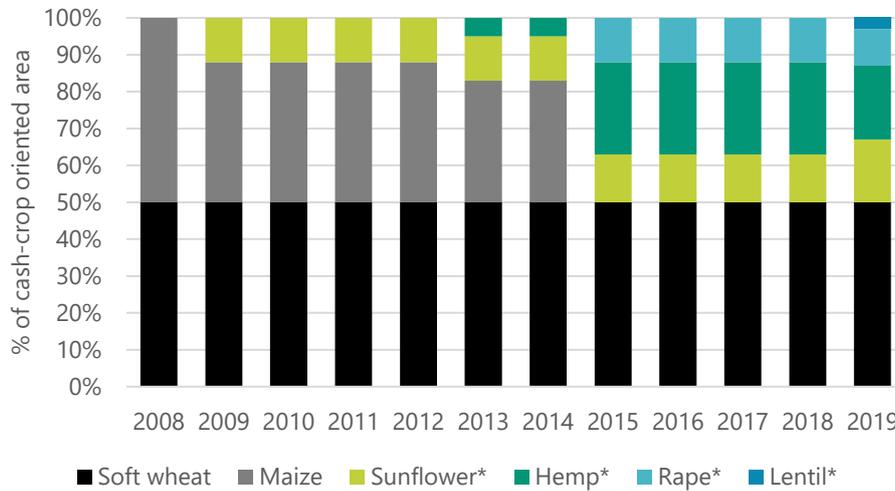
Type 2 (see example in Figure 9.b) corresponded to 9 progressive diversification pathways. The share of main crops in the cash-crop oriented area decreased (Table 5) to 43% on average. Farmers introduced 0.4 diversification cash crops per year (Table 5; Figure 8), 4.8 in total. These crops were most often added one at a time, with 0.6 crops tested per year (Table 5), meaning that most of the crops tested were continued (continuation rate of 83% compared to 59% in Type 1 and 73% in Type 3; see Table 5). The share of diversification cash crops in the cash-crop oriented area was multiplied by 2.9 (Table 5; Figure 8), from 16% to 51%.

3.2.3 Type 3: Strong increase in the number of crops

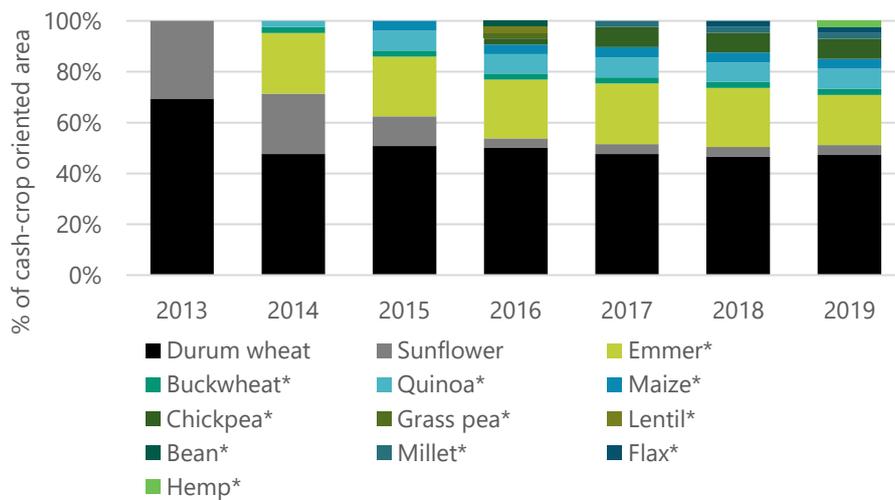
Type 3 (see example in Figure 9.c.) corresponded to the 7 diversification pathways of Cluster 3 of the hierarchical classification, and to farm S8. For these 8 pathways, the speed and number of crop introductions were significantly higher than in the other two types, with a higher global increase in diversity (Table 5; Figure 8). The share of main crops in the cash-crop oriented area decreased by half (Table 5). The total number of crops was multiplied by 3.5 and the number of diversification cash crops by 6.8, +1.6 crop per year, with more than 2 crops tested every year (Table 5; Figure 8), i.e. 8.1 crops tested in total. The share of diversification cash crops in the area was multiplied by 4.2 (Table 5). This type of pathway went hand in hand with more cases of farmers giving up on, or reducing the area of, diversification cash crops if they were not satisfied with the performances of the crops tested, although the correlation between the *backtracking* variable and Cluster 3 was not statistically significant ($P > 0.02$): the number of backtrackings was 0.8 per year, compared to 0.4 in type 1 and 0.3 in type 2 (Table 5; Figure 8).



(a) Example of a type 1 diversification pathway



(b) Example of a type 2 diversification pathway



(c) Example of a type 3 diversification pathway

Figure 9: Evolution of the cropping patterns of 3 farms illustrative of the 3 types of crop diversification pathways. Surface area of each crop in % of the cash-crop oriented area. The main crops are represented in black or grey. *diversification cash crop.

3.3 Drivers of the crop diversification pathways

For each type of crop diversification pathways, we present the characteristics of the pathways' drivers: (i) farmers' motivations to diversify (Table 6.b.) and (2) the resources mobilized to diversify (Table 6.c.).

Farmers' expressed motivations to start diversifying their cropping systems fell into three broad categories: agronomic- (25 farms), market- (23 farms), or labor-related (10 farms) issues. Agronomic issues were those related to the functioning of the agroecosystem, such as crop health or soil fertility. Market-related issues were those related to the marketing of crops and the income derived from it. Work-related issues were those related to the organization of activities on the farm and their consequences on the workers. The decision to diversify most often stemmed from a combination of motivations that fell into more than one category and within each of these three categories, farmers had a diversity of motivations. For example, farmers could seek to reduce fertilizer inputs on a crop for agronomic reasons (reducing lodging or nitrate leaching), market-related reasons (increasing the crop margin), work-related reasons (reducing the number of interventions on the fields), or a combination of those.

Farmers mentioned three key categories of resources that allowed them to implement crop diversification on their farms: their market relationships, their equipment and labor resources, and their knowledge and learning. The analysis of each pathway type's drivers shows that the nature and source of these resources were determining factors in how the diversification process unfolded. They were strongly linked to farmers' motivations and expectations regarding diversification, and were consistent with each other and with the type of diversification pathway of each farm (Table 6).

The size of farms (UAA), presence/absence of livestock, region, and production method (organic, conventional or mixed), were tested as supplementary variables of the principal component analysis, and found not to be correlated with the clusters of crop diversification pathways ($|V\text{-test}| < 2$, $P > 0.05$). We confirmed this using Fisher's exact test for the correlation between clusters and production method ($P = 0.97$), presence/absence of livestock ($P = 0.54$), and region ($P = 0.71$), and the Kruskal-Wallis test for the correlation between clusters and farm size ($P = 0.74$). Structural variables are presented for information in Table 6.d.

The Kruskal-Wallis test, combined with a post hoc Dunn's test, shows a significant difference between clusters 2 and 3 in terms of pathway duration ($P < 0.05$): see Table 5 and supplementary material S.4. This underlines how changes in Type 2 pathways are gradual and take place over larger periods of time, while changes in Type 3 pathways are abrupt and build up over only a few years.

3.3.1 Drivers of type 1 diversification pathways

Crop diversification in Type 1 was most often motivated by the comparison of the performance of a crop present in the initial system (generally a main crop) and a potential diversification cash crop. The diagnosis that led farmers to diversify concerned the crop (7 farms), and sometimes the crop succession or the farm (7 farms). The farmers searched for crops with (i) higher added value (market-related motivations: 9 farms) or (ii) better agronomic performances (agronomic motivations: 10 farms). Farmers' agronomic concerns were most often related to weed control. They chose their new crops based on their cropping calendar, their competitiveness against weeds, or the herbicides authorized on the crop. Farmers could also be concerned about the sensitivity of these crops to pests (birds,

wild boars) or their irrigation needs (Table 6.b). Eight farms were looking for crops that were adapted to organic or conservation agriculture production methods (tolerance to diseases, weeds and pests, nitrogen fixation). Farmers' search for higher added value translated into looking at crops with better margins, sale prices or lower expenses (Table 6.b). Finally, market "opportunities", i.e., the discovery of an outlet or the proposal of a contract by a downstream actor, were often a trigger for diversification (6 farms).

Diversification was generally impeded by difficulties in the management of the new crops that led farmers in Type 1 to limit the surface area or to abandon diversification crops, slowing down the diversification process. These farmers had few contacts among producers or other actors who could share local expertise on the crops introduced (Table 6.c: sources of knowledge). The majority of these farms (11) mobilized a variety of marketing channels (Table 6.c: marketing networks) that could change from one year to the next (selling "to the highest bidder", approaching a diversity of downstream actors to look for contracts). The knowledge that Type 1 farmers applied in the diversification process came mainly from the internet, from other farmers (colleagues, groups) or from trials conducted on their farms. These farmers only used external production resources for diversification crops (Table 6.c: external or specific material or labor) if they routinely operated with equipment or labor sharing systems, or if specific equipment and skills were required for harvesting the crops (e.g. textile hemp, oilseed flax, onions).

3.3.2 Drivers of type 2 diversification pathways

Whereas the motivations supporting diversification among Type 1 farmers mostly concerned the crop level and focused on one dimension (agronomic or market issues), those expressed by Type 2 farmers were combinations of motivations covering several dimensions (8 out of 9 farms) and mainly concerned the crop succession or the farm (Table 6.b). Farmers considered not only the agronomic performance of a given diversification crop (as in Type 1) but also the advantages of extending crop rotations for weed control, crop disease control and soil quality management (6 farms). Other farmers wanted to reduce inputs for health or labeling concerns. Finally, some farmers expressed motivations related to their work organization (simplicity, distribution during the year) or curiosity about new crops (5 farms). Market-related motivations (8 farms) were similar to Type 1: higher added value (5 farms), market opportunities (4 farms).

The significant increase in the surface area of diversification cash crops in these pathways, and the relative stability of the diversification cash crops once introduced (continuation rate of 83% of the diversification cash crops tested, as opposed to 59% in Type 1 and 73% in Type 3), were related to the fact that these farmers worked mostly with structured value chains for which the volumes sold were contracted at the latest at the beginning of the season. The downstream actors of these value chains provided resources to ensure the best possible production volumes: knowledge and references on crop management, additional equipment or labor when necessary (Table 6.c). These resources were associated with technical specifications on the crop management farmers have to comply with.

3.3.3 Drivers of type 3 diversification pathways

All 8 farmers in Type 3 expressed strong agronomic motivations to diversify, while market-related motivations were less frequent (3 farms). Their agronomic concerns were directly related to crop diversity, in the context of a desire to halt soil quality degradation (4 farms), or of a conversion to organic farming (4 farms). Crop diversity was seen as a means in itself

to improve the properties of the system. The market-related motivations (3 farms) differed in nature from types 1 and 2: these farmers diversified to create a range of products for direct sale or for short distribution channels. This does not mean that farmers did not have economic expectations when choosing or evaluating crops, but crops' direct added value was not what led them to diversify. Unlike Type 2 farmers, who were generally looking for security in the choice of crops they introduced (through outlets that provided them with technical support and marketing volumes), Type 3 farmers regularly mentioned a desire for autonomy or flexibility, particularly in decision-making, as a reason for their decisions regarding crop diversification (Table 6.b). They wanted to avoid working in overly regulated and constrained value chains.

These farmers tested and experimented with many crops to develop (on their own or with other farmers) knowledge on the crops and their adaptation to the local context (Table 6.c). They often searched for existing references (e.g. in other regions, other countries) on these crops or relied on previous experiences (e.g. working on other farms). Marketing could be done through direct sales or short circuits (producer stores, specialized distributors, etc.), or through processors (with a desire to dispense with intermediary organizations) which could provide bigger outlets in terms of volume, as well as other processing options. These two forms of marketing were often combined (large range of crops sold in short circuits; a few crops sold through larger outlets). The downstream actors with whom Type 3 farmers worked often did not have much agronomic expertise. The farmers developed their own expertise and negotiated the specifications for crop management with processors based on their respective expectations (e.g. varieties used, production quality criteria). When they gave up certain diversification crops in the course of their pathway, these farmers saw it not as a failure but as a normal event in a process where they tested many things to see which crops satisfied them or not.

Table 6: Summary of the characteristics of each type of crop diversification pathway

	Type 1	Type 2	Type 3
Number of farms	16	9	8
Duration of pathways	8.8 years	11.2 years	4.8 years
a) Characteristics of the pathways			
General pattern	Low or slow crop diversification. The relative area of main crops stays high. Low number of crops tested.	Steady increase in the relative area of diversification crops. High continuation rate of the diversification crops tested.	Strong increase in the number of crops (x3.5 over the pathway). Many crops tested but not always continued.
Increase in the number of diversification cash crops	+0.2 per year (from 1.2 to 2.6)	+0.4 per year (from 1.1 to 5.9)	+1.4 per year (from 0.6 to 6.3)
Increase in the relative area of diversification cash crops	+3 points per year (from 28% to 44%)	+4 points per year (from 30% to 68%)	+12 points per year (from 15% to 68%)
b) Motivations			
Object	Crop by crop comparison of performances.	Combination of market-, agronomic- or work-related motivations	Strong agronomic motivations concerning the crop succession

		concerning the crop succession or the farm.	
Agronomic motivations	Introducing crops with "better" performances on e.g. competitiveness against weeds, sensitivity to pests, irrigation needs.	Concerns about the impacts of short rotations, interest for longer rotations: weeds, crop diseases, soil quality, input use.	Crop diversity as a means to globally improve the properties of the agroecosystem.
Market-related motivations	Market opportunities. Introducing crops with better performances on e.g. margins, sale prices, expenses.	Similar to type 1 motivations.	Less frequent. Creating a range of products for short distribution channels.
Labor-related motivations	Rare.	Simplicity, distribution of tasks over the year, curiosity for new crops.	Desire for autonomy in decision-making.

c) Resources

Marketing networks	Variety of outlets, unstable from one year to the other.	Structured value-chains, early contracts on volumes.	Short distribution channels and/or larger outlets with reduced intermediaries (e.g. direct contact with industries).
Sources of knowledge	Few contacts among other producers or actors knowledgeable about the diversification crops.	Mostly downstream actors.	Lots of personal trials (or in farmer networks). Personal expertise.
External or specific material and labor	Only if specific harvest requirements for the crop.	Mostly from downstream actors.	Varying.

d) Structure of the farms

Utilized Agricultural Area	247 ha	244 ha	151 ha
Presence of livestock	8/16 farms	6/9 farms	3/8 farms
Region	Marche: 4 Skåne: 4 Vendée: 8	Marche: 2 Skåne: 2 Vendée: 5	Marche: 4 Skåne: 2 Vendée: 2
Production method	Conventional: 10 Organic: 5 Mixed: 1	Conventional: 6 Organic: 3 Mixed: 0	Conventional: 4 Organic: 3 Mixed: 1

The values presented are the mean values for each crop diversification pathway type.

4 DISCUSSION

This paper used a novel analytical framework to analyze farmers' practice changes towards crop diversification in a variety of contexts. We discuss the implications of our results in terms of (i) methodological approaches to crop diversification, (ii) potential levers to support crop diversification, and (iii) perspectives at the scale of a region.

4.1 Different ways of diversifying

Our analytical framework allowed us to identify distinct patterns in the crop diversification pathways of a set of 33 farms: (1) pathways where the process of crop diversification was slow; the levels of diversity achieved were low, with one or two diversification crops and a large share of the area dedicated to main crops; (2) pathways where the diversification process was steady, with a new crop every two years on average, until a plateau was reached in the share of the area occupied by diversification crops; and (3) pathways where the level of crop diversity increased greatly and rapidly, with large numbers of crops tested, even if it meant abandoning some in the course of the pathway. These results are in line with the conceptualization proposed by Wilson (2008) of a diversity of "transitional pathways" of farms: "Each farm will have its own 'fingerprint' of successions of linear transitional patterns and nodal changes over time. Indeed, on some farms change may be very gradual over decades, while on others a rapid succession of nodal changes may occur within a short time span" (Wilson, 2008, pp. 374–375).

Despite each farm presenting its own "fingerprint", we were able to highlight patterns of diversification pathways by relying on a novel combination of variables of the evolution of crop diversity on the farm. These variables were chosen to reflect the evolution of crop diversity on the surveyed farms, without *a priori* defining a range of diversity levels. Padel et al. (2019) indeed suggested that we need to limit the attempt to identify pre-established stages of change if we wish to better analyze and explain the diversity of farms' change pathways. Some of the variables we used ("number of crops"; Shannon index; "Crop Diversity Index") came from the literature (Bockstaller, 2018; Bockstaller et al., 2011), but we also proposed new variables to distinguish between what we called "main crops" and "diversification crops". We established this distinction at the scale of a region. These variables allowed us to go further than assessing only the richness (or specific diversity) at the farm scale, by providing information on the contribution of a given farm to spatial diversification at the regional scale (Sirami et al., 2019). The indicators we used do not show, however, whether there was spatial diversification at the field scale during the crop diversification pathways, though in-field diversification practices were implemented by some of the farmers in the sample. Informing more systematically field-scale diversification on farms and its drivers would be very useful, as it is shown to be key for the provision of ecosystem services (Ditzler et al., 2021). We were also able to differentiate between diversification pathways based on the introduction of (i) a few diversification crops over large areas (Type 2), or (ii) many diversification crops, some of which concerning only small areas (Type 3). The monitoring of new indicators of crop diversity, in particular indicators focusing on diversification crops (number of diversification crops; share of diversification crops in a farm's area), would be of great interest to detect diversification patterns in a given region or in a given group of farmers, and to support farmers towards diversification according to these patterns.

The types of diversification pathways identified were associated with practice change processes that differed both in terms of farmers' motivations and the resources mobilized to support changes. Farmers' motivations to change their practices have often been studied in the literature on topics other than crop diversification (Huttunen and Oosterveer, 2015; Mawois et al., 2019; Rosenzweig et al., 2020; Ryschawy et al., 2013; Sutherland et al., 2012). Rather than using a pre-defined list of motivations, we chose to carry out an inductive analysis in order to stay as close as possible to the motivations farmers really expressed. This enabled us to describe in more detail farmers' motivations and the object to which they applied (crop, crop succession, farm), and to show how a number of motivations, especially agronomic and market-related motivations, intertwine in farmers' diversification process. Our work further shows the relevance of focusing on the resources mobilized by farmers during their practice change pathways. This was proposed by Blesh and Wolf (2014) as an integrative way to understand *how* farmers change and not just *why* they do so, by also focusing on the material and structural dimensions of change.

No correlations were observed between the farms' structure (size, presence of livestock on the farm, region, production method) and the type of crop diversification pathway. We can hypothesize that a large agricultural area could drive some farmers to try and simplify their cropping systems, and others to diversify to spread their annual workload, depending on those farmers' objectives. Though the presence of livestock can drive farmers to introduce diversification crops for feed, absence of correlation with the pathway types could be explained by farms where the livestock's feed comes from (i) outside the farm, (ii) main crops (e.g. maize, wheat), or (iii) dedicated areas, thus having no impact on the crop rotations in the cash-crop oriented area. This underlines the complexity of interactions happening within the farms and the necessity to consider the transformation of farmers' work and activities (including farmers' motivations) together with technical changes (Coquil et al., 2018; Delecourt et al., 2019).

4.2 Levers for crop diversification

The diversification pathways that led to the highest levels of crop diversity in our sample were guided by the most systemic motivations: (i) when the diagnoses made by farmers on their initial system went beyond the crop (type 3 in particular) and (ii) when several motivations covering different dimensions (agronomic, market-related or labor-related) were combined (type 2 in particular). The agronomic motivations concerning crop successions were especially key to strengthening and sustaining crop diversification. They mainly concerned the management of weeds, the quality of the soil, and the diseases affecting the crops. Here we confirm the finding that the introduction of diversification crops (in particular legumes) in cropping systems proves interesting when considering not only their individual annual performance, but also their effects on the environment and on the following crops (MacWilliam et al., 2014; Magrini et al., 2016; Reckling et al., 2016). Farmers' concerns around soil health and multi-annual performances have been shown to contribute to changes towards crop diversification (Cusworth et al., 2021). Beillouin et al. (2021) confirmed the impact of lengthening crop rotations (among other crop diversification strategies) on crop production, on soil quality, and on pests – including weeds – and disease control. They also highlighted significant effects of crop diversification on water quality and associated biodiversity, which were rarely mentioned by the farmers in our survey. Diagnoses on existing cropping systems, support measures, and crop diversification

scenarios should build on this multiplicity of farmers' possible motivations to diversify as well as society's other expectations for crop diversification.

Farmers' expectations regarding the marketing of diversification crops (particularly in terms of flexibility and autonomy with regard to downstream value-chain actors) and their outlet-seeking strategies had a major impact on the range of diversification species these farmers could sell and on the stability of their diversification pathways. Some farmers primarily called on their usual marketing channels, which usually brought them more security in their outlets but came with pre-defined crop species and management constraints; other farmers decided to seek out new marketing channels, which was more uncertain and time-consuming but allowed them to look for or to build outlets corresponding to their expectations. Such marketing channels in turn have a strong impact on farmers' practice change, as shown by Navarrete (2009) and Valencia et al. (2019).

The level of regulation of the production by downstream value-chain actors through technical specifications, along with the level of involvement of farmers in post-harvest activities, also determined the shape of diversification pathways. The steadiest crop diversification pathways were observed for farms that worked with a strong regulation from downstream actors, while other pathways were less stable. Downstream value chains providing resources and setting technical specifications for crop management are one of the levers available to farmers to overcome several of the obstacles to diversification identified in the literature (Meynard et al., 2018; Morel et al., 2020; Rodriguez et al., 2021): access to inputs, access to productive resources, and above all access to knowledge and references on diversification crops and their integration in cropping systems. It often comes, however, with reduced leeway for farmers to make decisions about their farm management (Schiller et al., 2020). While the literature regularly emphasized the importance of farmers' collectives in the production of knowledge and learning processes (Slimi et al., 2021; Toffolini et al., 2017), the different types of crop diversification identified in this work differed, above all, according to the role of the downstream actors in the production and sharing of knowledge with farmers. In the case of value chains where production was regulated through technical specifications, it was downstream operators that played a major role in the production and sharing of knowledge on diversification crops. This role of downstream operators and of the coordination among actors of the value chain was underlined by Cholez et al. (2020) and by Meynard et al. (2018, 2017). In the absence of strict technical specifications by the value-chain actors, the production of knowledge on new crops relied heavily on farmers (personal research, exchanges with other farmers outside of formal collectives, trials on their own farms) and could imply longer learning processes for a given crop, or less stability in production. The role of peers and collectives (outside the value chain) was less pronounced, but nevertheless present in all types of diversification pathways. Most farmers mobilized a combination of different sources of knowledge throughout their pathways, which was shown to be a key factor for success in transitional pathways (Chantre and Cardona, 2014; Mawois et al., 2019).

Finally, farmers mobilized different strategies to ensure that their equipment and labor resources were adequate for the needs stemming from diversification. The use of external production resources was key in certain situations where diversification crops required specific equipment or skills, or when their importance on the farm (low contribution to income, uncertainty about the future of the market) did not justify investing in dedicated internal resources. This use of external production resources took a variety of forms

(collective ownership with other farmers, subcontracting, contracting with the downstream structures of the value chains) that depended on the local context and its evolution (size of the farms, availability of agricultural contractors, etc.). Global evolutions of work conditions in agriculture (increase in the size of farms and of the area per worker; evolution of work arrangements from family farms towards forms of organization where work is salaried, outsourced to contractors or shared between several farms; evolution towards more or less mechanization-intensive production methods) can be expected to have a strong impact on crop diversification processes (de Roest et al., 2018; Lucas et al., 2018); they could hinder those processes as part of a search for simplified work procedures, or on the contrary, support those processes if they are used to collectively manage resources devoted to crop diversification.

The levers mobilized by farmers to diversify should therefore be considered as a coherent set of different resources, which differ from one farm to another and help to explain the variability of diversification pathways, in line with farmers' motivations and in a given socio-technical context.

4.3 Insights from the comparative approach of three regions

The three types of diversification pathways identified in this work were present in the three regions studied. However, their proportions varied between regions. This suggests that the patterns of crop diversification pathways we identified are somewhat robust in a variety of contexts. It also means that these different ways of diversifying are not mutually exclusive, and can coexist in the agri-food system of a given region. It raises the question of the share that these different forms of diversification could take within a region. Given the size of our sample in each region and the fact that the farms studied were not chosen to be representative (e.g. they had significantly bigger areas than the average), we cannot extrapolate our results to a larger scale. An analysis of agricultural census data on regions, down to the farm scale, would make it possible to determine the proportions and ways in which farms are currently diversifying their crops, and even to trace back the pathways that led to this diversification. Provided that such data are available, such an analysis would make it possible to better understand which farms are engaged in which type of diversification. It would also enable one to estimate their representativeness in the regions studied, and thus to facilitate diagnoses preliminary to a reflection with public policy makers and regional actors (advisory services, agricultural value chains, farmers) on possible changes in the diversity of crops in a region.

Although they applied to small numbers, the differences in the proportions of each type of pathway observed between our three study regions underlined the influence of the context in which the farms are located on their possibilities of evolution. Thus, farmers in Marche where few large-scale diversification crops value chains existed relied strongly on short supply chains to create outlets for a larger range of crops. The higher share of organic farming in the region and in our sample might have contributed to faster diversification processes. On the contrary, many farmers in Vendée relied on the outlets for minor crops developed by the main downstream actor in the region, thus engaging in steady crop diversification processes with downstream regulation of the production.

An analysis of the functioning of the value chains in relation with different types of farms in each of the study areas would allow for a better understanding of the way in which these

diverse value chains develop, coexist, and contribute to broadening the possibilities of crop diversification for farms. Analytical frameworks have been proposed by researchers to perform such an analysis at a given geographical scale, focusing on the characterization of supply basins (Le Bail and Le Gal, 2011), food systems (Gaitan-Cremaschi et al., 2019), sociotechnical systems (Della Rossa et al., 2020), or the local interactions between agricultural and food models (Gasselin et al., 2020).

5 CONCLUSION

Through analyzing crop diversification as a long-term change process on farms, in a variety of contexts, we outlined three distinct types of crop diversification pathways and their associated drivers. Farms with a low or slow increase in crop diversity over time were mostly driven by agronomic or economic motivations concerning the crop level, and often encountered difficulties in trying to reach these objectives. Their outlets for diversification products and their sources of knowledge and learning were usually unstable. Farms with a steady diversification process, introducing a limited number of new crops but on significant shares of their cropping area, expressed similar economic motivations as the previous farms, but combined to agronomic or work-related expectations that exceeded the crop level. These farms were strongly supported and supervised by downstream actors in their change process. The last group of farms showed a fast and significant increase in crop diversity, with many crop species tested during their pathway. These farmers were aiming for high levels of crop diversity as a way to improve the functioning of their cropping systems and got very involved in the developing of knowledge and of alternative value chains for minor crops.

Our work highlights that the changes a farm can implement towards crop diversification depend on the farmers and on the local context it is embedded in. To better support and enable crop diversification, it is necessary to consider farmers' visions and expectations regarding their farm; the resources they are capable and willing to mobilize in terms of marketing outlets, knowledge sources, equipment and labor; and the time frame in which this crop diversification can take place.

This article provides perspectives on how to develop crop diversification at the scale of agri-food systems: indeed, we showed a diversity of possible pathways for farmers to diversify depending on their farm's functioning and the context. "Scaling-up" crop diversification implies considering both the changes in farmers' practices towards crop diversification and the associated marketing systems: how to develop outlets for crop diversification, and what do different kinds of outlets imply for the farmers implementing crop diversification? The results presented in this paper could be useful to inform design activities aiming at developing collective or coupled innovations in agri-food systems (Hoffecker, 2021; Meynard et al., 2017). The learning processes of farmers underlying the different possible crop diversification pathways need to be better understood as well, in order for value chains and other advisory actors to better adapt the services and support they provide to farmers' needs and concerns (in terms of knowledge, methods, references). Finally, local public policy strategies on crop diversification need to be designed with the participation of a diversity of farmers in order to consider the local context, the diversity of farmers' issues and expectations, and how crop diversification pathways can be articulated to tackle those issues, over time scales of five to fifteen or twenty years.

CHAPITRE 2. LA DIVERSIFICATION DES CULTURES AU NIVEAU DES TERRITOIRES : INFLUENCE DES INTERACTIONS ENTRE LES FILIERES, LE CONSEIL ET LES EXPLOITATIONS AGRICOLES

1 INTRODUCTION

L'analyse des trajectoires de diversification des agriculteurs (Chapitre 1) montre qu'il existe une cohérence forte entre les motivations des agriculteurs à diversifier et les modes de commercialisation des cultures de diversification qu'ils mettent en œuvre, et que ces deux éléments déterminent la forme des trajectoires de diversification.

Ce chapitre interroge la manière dont les interactions entre acteurs des filières, du conseil et agriculteurs conduisent à une diversité de dynamiques de diversification des cultures au niveau des territoires. Nous mobilisons pour cela une analyse comparative des trois territoires d'étude de la thèse, où des entretiens ont été réalisés avec des acteurs des filières, du conseil et des agriculteurs, représentant une diversité de cultures de diversification et de débouchés. L'analyse des modes de coordination entre agriculteurs et acteurs aval des filières nous permet d'identifier différentes catégories de systèmes d'approvisionnement qui diffèrent par les modalités d'interaction entre acteurs, et par les formes de diversification auxquelles ils conduisent. Ces systèmes d'approvisionnement sont ensuite replacés dans le contexte des trois territoires d'étude, afin (i) de comprendre comment différentes configurations et situations de coexistence de ces systèmes déterminent les dynamiques de diversification de ces territoires, et (ii) de proposer des voies pour favoriser la diversification au niveau des fermes et des territoires.

2 METHODE : ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES D'APPROVISIONNEMENT

2.1 Cadre d'analyse

On définit un système d'approvisionnement (voir Problématique, §3.1) comme la manière dont un ensemble d'unités de production agricole et de collecte assurent l'approvisionnement d'une entreprise agroalimentaire pour une culture particulière dans un territoire donné. L'entreprise peut être un négociant, une coopérative de stockage ou une entreprise de transformation s'approvisionnant directement chez les agriculteurs.

Le système d'approvisionnement est constitué à la fois d'éléments physiques, d'acteurs et de dispositifs de coordination : (i) l'ensemble des parcelles où la culture est présente et les infrastructures de collecte des récoltes issues de cette culture ; (ii) les agriculteurs et les opérateurs de l'aval premiers metteurs en marché impliqués dans la production et la collecte de la culture ; (iii) les modalités de coordination entre ces acteurs pour l'atteinte de leurs objectifs (Le Bail, 2012).

On propose dans ce chapitre de classer les systèmes d'approvisionnement selon leurs modalités de coordination entre agriculteurs et premiers opérateurs de l'aval, ces modalités de coordination ayant des conséquences fortes sur les pratiques agricoles.

Les différentes modalités de coordination sont associées à des différences dans :

- (i) La manière dont sont prises en compte (identification, évaluation et réduction) les incertitudes sur la production en termes de volumes et de qualité, notamment à travers les contrats (plus ou moins formalisés) passés entre les agriculteurs et l'aval, et les cahiers des charges associés ;
- (ii) La manière dont les connaissances sur la culture de diversification sont produites et circulent entre les acteurs, notamment à travers les différentes formes de conseil et d'accompagnement technique proposées aux agriculteurs ;
- (iii) Les dynamiques de développement et de stabilisation des filières associées ;
- (iv) La relation entre les modes de commercialisation des cultures de diversification et le fonctionnement des exploitations agricoles.

Nous explorons ces quatre points dans la présentation de chaque type de système d'approvisionnement.

2.2 Entretiens

Dans nos territoires d'étude, nous avons réalisé 62 entretiens mobilisés pour ce chapitre (Tableau 7) : 16 avec des acteurs de l'aval des filières, 7 avec des acteurs de structures de conseil hors filières, et 39 avec des responsables d'exploitations agricoles. Parmi ces exploitations agricoles se trouvent les 33 dont la trajectoire de diversification a été analysée dans le chapitre 1 (voir guide d'entretien en annexe 2.1) ; les 6 exploitations agricoles restantes n'ont pas été analysées dans le chapitre 1 car les données récoltées étaient insuffisantes pour reconstituer leur trajectoire de diversification. Nous les analysons ici sous

l'angle de leurs pratiques de commercialisation de cultures de diversification en circuits courts.

Les acteurs de l'aval des filières et de structures de conseil rencontrés ont été identifiés d'après (i) les entretiens avec les agriculteurs, et (ii) des entretiens avec des acteurs (R&D, conseil) connaissant bien les territoires d'étude. Nous avons cherché à rencontrer des acteurs de structures représentant la diversité des filières de diversification présentes sur le territoire, en prêtant en particulier attention à la taille de ces structures en termes de volumes collectés, et aux types de cultures collectées.

Tableau 7 : Nombre d'entretiens réalisés dans chaque territoire auprès d'acteurs des filières, du conseil et d'exploitations agricoles

Entretiens	Vendée	Scanie	Marches	Total
Opérateurs aval des filières (hors exploitations agricoles)	6	2	8	16
Acteurs du conseil hors filières	2	4	1	7
Exploitations agricoles	16	9	14	39
... dont celles réalisant de la vente en circuits courts	4	3	9	16
... dont trajectoires de diversification analysées dans le ch.1	15	8	10	33

Les informations collectées lors des entretiens auprès des acteurs des filières et du conseil (voir guides d'entretien en annexes 2.2 et 2.3) portent sur les systèmes d'approvisionnement relatifs aux cultures de diversification, dans lesquels ces acteurs interviennent, et plus précisément sur :

- L'organisation du système d'approvisionnement : qui sont les acteurs de la relation entre agriculteurs et entreprises de collecte ? quelles coordinations entretiennent-ils au sein du système d'approvisionnement ? quelle répartition des activités, des responsabilités et des prises de décision entre les acteurs ?
- Les modalités de gestion des volumes et de la qualité, notamment la nature des contrats passés avec les agriculteurs, les cahiers des charges associés et leurs implications pour les agriculteurs ; comment les incertitudes sur les volumes et la qualité sont-elles prises en charge et par qui ? quels sont les critères de choix des agriculteurs et les leviers pour les inciter à contribuer au système d'approvisionnement ?
- Les pratiques de back-office et de front-office dans les activités de conseil : quelles modalités de production et de circulation des connaissances entre les acteurs du système d'approvisionnement ? quel contenu du conseil adressé aux agriculteurs ? quels critères d'évaluation des performances du système d'approvisionnement ?
- La dynamique et l'évolution du système d'approvisionnement : quelles motivations pour la création du système d'approvisionnement ? quelles modalités de gestion des premières années de fonctionnement ? quelles difficultés rencontrées au cours du temps ?
- Conséquences pour les exploitations agricoles, quel type de diversification favorisé ou encouragé par le système d'approvisionnement ?

Nous avons également questionné les interactions entre ces systèmes d’approvisionnement et le fonctionnement global de la structure.

Les entretiens réalisés avec les agriculteurs ont permis de compléter les informations apportées par les entretiens avec les structures des filières et du conseil, et d’identifier des systèmes d’approvisionnement relevant d’autres structures de l’aval que celles enquêtées.

2.3 Analyse des données

2.3.1 Caractérisation des systèmes d’approvisionnement de cultures de diversification et de leur diversité

L’analyse des données issues des entretiens nous a d’abord permis de caractériser la diversité des systèmes d’approvisionnement associés aux cultures de diversification.

(1) Nous avons listé l’ensemble des systèmes d’approvisionnement mentionnés dans nos entretiens avec les acteurs des filières, du conseil et des agriculteurs. Chaque système d’approvisionnement correspond à un ensemble *culture de diversification (produite par un ou plusieurs agriculteurs) – opérateur de collecte – mode d’approvisionnement sur un territoire*. En nous appuyant en priorité sur les entretiens avec les acteurs des filières¹², nous avons caractérisé les modalités de coordination entre agriculteurs et premiers opérateurs de l’aval pour chacun de ces systèmes d’approvisionnement. Ces modalités de coordination correspondent aux dispositifs (formels ou informels) à travers lesquels les acteurs fixent des objectifs de moyens (modalités de conduite de la culture) et/ou de résultats (caractéristiques de la production) pour la culture concernée par le système d’approvisionnement.

(2) Cette caractérisation nous a permis de regrouper les systèmes d’approvisionnement présentant des modalités de coordination similaires, où les objectifs de moyens et de résultats pour la culture sont fixés de la même manière.

(3) En reprenant les informations issues des entretiens, nous avons ensuite caractérisé plus finement, pour chaque type de coordination, le fonctionnement de ces systèmes d’approvisionnement (voir Chapitre 2 §2.1) : (i) gestion des incertitudes sur la production, (ii) modalités de production et de circulation des connaissances, (iii) dynamiques de développement et de stabilisation du système d’approvisionnement, (iv) conséquences pour le fonctionnement des exploitations agricoles.

2.3.2 Caractérisation des dynamiques territoriales de diversification

Dans un deuxième temps, nous avons analysé la manière dont les systèmes d’approvisionnement se combinent dans chacun des trois territoires d’étude, et les dynamiques de diversification qui en résultent. En nous appuyant sur la liste des systèmes d’approvisionnement identifiés pour chaque territoire, la caractérisation de ces systèmes d’approvisionnement (Chapitre 2 §2.3.1) et les éléments complémentaires apportés par les différents entretiens, nous avons analysé plus précisément :

¹² et en complément, ou lorsque les acteurs des filières n’ont pas pu être rencontrés, sur les entretiens avec les agriculteurs et les acteurs du conseil

(1) Qui sont les opérateurs de l'aval collectant la majorité des volumes de productions végétales sur chaque territoire, en lien avec les systèmes de culture dominants le territoire ; et quel rôle jouent ces opérateurs dans la collecte de produits issus de la diversification.

(2) Quels autres opérateurs de l'aval sont impliqués dans la collecte de produits issus de la diversification, et de quelle manière.

(3) Quel rôle jouent les structures de conseil (non rattachées aux filières) et les pouvoirs publics dans le développement de systèmes d'approvisionnement pour les produits issus de la diversification, et dans l'accompagnement des agriculteurs qui diversifient.

Pour chacun de ces questionnements, nous avons cherché à retracer les évolutions récentes, en termes d'acteurs impliqués, de filières en place, d'interactions entre systèmes d'approvisionnement, afin de mettre en évidence la manière dont ces évolutions contribuent aux dynamiques de diversification des territoires.

3 RESULTATS

3.1 Diversité des systèmes d’approvisionnement des cultures de diversification

Nous avons identifié une grande diversité de systèmes d’approvisionnement centrés sur des cultures de diversification, et ce, dans les trois territoires d’étude (Tableau 8) : 215 systèmes d’approvisionnement au total, dont 62 en Vendée, 99 dans les Marches et 54 en Scanie. Ces systèmes d’approvisionnement recouvrent une multiplicité d’espèces (28 en Vendée, 32 dans les Marches, 32 en Scanie, 56 au total) et une diversité d’opérateurs de l’aval (16 en Vendée, 25 dans les Marches, 22 en Scanie, 63 en tout) : leur liste complète est présentée en annexe 2.

L’analyse des modalités de coordination entre premiers opérateurs de l’aval et agriculteurs dans ces systèmes d’approvisionnement nous a permis de les classer en cinq types dont la répartition est présentée dans le Tableau 8, et dont les caractéristiques sont résumées dans le Tableau 9. Nous développons dans les paragraphes suivants la manière dont ces différents types de système d’approvisionnement fonctionnent et jouent sur le processus de diversification dans les exploitations agricoles

Tableau 8 : Répartition des systèmes d’approvisionnement de cultures de diversification selon cinq types de coordination, dans les trois territoires d’étude.

Type de coordination des systèmes d'approvisionnement	Nombre de systèmes d'approvisionnement concernés				Nombre d'opérateurs concernés			
	Total	Vendée	Marches	Scanie	Total	Vendée	Marches	Scanie
Coordonné par l'aval	92	25	44	23	32	5	14	13
Co-construit entre agriculteurs et aval	42	11	15	16	12	4	2	6
Coordonné par le marché	23	18	0	5	7	5	0	2
Circuits courts coordonnés par les agriculteurs	54	7	38	9	12	3	7	2
Coordonné entre agriculteurs	4	1	2	1	4	1	2	1
Total	215	62	99	54	67	16*	25	22*

*Certains opérateurs de Vendée et de Scanie interviennent dans plusieurs types de systèmes d’approvisionnement.

Tableau 9 : Caractéristiques des différents types de systèmes d’approvisionnement identifiés pour les cultures de diversification, regroupés selon leur mode de coordination.

Type de système d’approvisionnement	Coordonné par l’aval	Co-construit entre agriculteurs et aval	Coordonné par le marché	Coordonné par les agriculteurs (circuits courts)	Coordonné entre agriculteurs
a. Mode de coordination	<ul style="list-style-type: none"> - Contrat de production passé avant le semis (volume, prix) - L’agriculteur s’engage à suivre les critères de qualité et les contraintes de production définies par l’acheteur 	<ul style="list-style-type: none"> - Coordination directe entre agriculteurs et transformateur - Engagement formel ou informel avant le semis - Négociation entre les agriculteurs et l’aval des attentes de résultats et des moyens à mettre en œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrats passés en fin de campagne ou après la récolte, ou pas de contrats - Critères de qualité minimaux, fixé par le marché 	<ul style="list-style-type: none"> - Volume, prix et qualité du produit fixé par l’agriculteur d’après son évaluation des attentes des acheteurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Approvisionnement direct d’un agriculteur par un autre - Négociations des objectifs et des modalités de production entre les agriculteurs
b. Gestion des incertitudes sur la production	<ul style="list-style-type: none"> - Surestimation volontaire des surfaces nécessaires pour atteindre l’objectif de volume - Sélection des agriculteurs par l’aval - Investissements de l’aval dans des équipements appropriés pour la collecte, le stockage, et parfois la conduite de certains chantiers 	<ul style="list-style-type: none"> - Tâtonnements et limitation des surfaces par les agriculteurs, anticipation de faibles volumes par l’aval les premières années - Limitation des investissements (utilisation d’équipements existants, achats d’occasion) - Fidélité des producteurs, prix lissés par les acheteurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Instabilité des prix d’achat, forte concurrence entre acteurs - Diversification des zones de collecte par les acheteurs - Cultures et facteurs de variabilité des rendements bien connus des acteurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajustements de la production et de la commercialisation d’une année sur l’autre par les agriculteurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Ces systèmes d’approvisionnement correspondent à des compléments pour les agriculteurs acheteurs, rendant les aléas de production plus acceptables
c. Production et circulation des connaissances	<ul style="list-style-type: none"> - Production de connaissances et références par l’aval (essais en ferme, plateformes expérimentales) - Spécifications techniques détaillées dans les contrats - Accompagnement technique des agriculteurs par l’aval 	<ul style="list-style-type: none"> - Production de connaissances et références par les agriculteurs - Apport de références génériques par l’aval - Appui ponctuel d’agronomes, conseillers extérieurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Connaissances et références abondantes et facilement disponibles pour les agriculteurs (internet, conseil, pairs) - Validation locale des références par l’aval 	<ul style="list-style-type: none"> - Production de connaissances par les agriculteurs, parfois avec des collectifs permettant le partage d’expériences - Recherche de références locales ou issues d’autres régions de production par les agriculteurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Production de connaissances par les agriculteurs, parfois avec des collectifs

<p>d. Développement et stabilisation des filières</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Filières industrielles longues, concernant des volumes importants - Evolution des surfaces (à la hausse ou à la baisse) par paliers, liée aux capacités de transformation et aux choix stratégiques de l'aval 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitation du nombre d'agriculteurs impliqués pour faciliter les interactions et les apprentissages - Evolution progressive des surfaces - Recherche d'équilibre entre nombre de producteurs, surfaces, et complexité de gestion 	<ul style="list-style-type: none"> - Instabilité des prix, de la demande, des surfaces de production - Instabilité d'autant plus fortes que les surfaces cultivées sont faibles localement 	<ul style="list-style-type: none"> - Variations parfois importantes des volumes produits et/ou commercialisés d'une année sur l'autre - Stratégies de stabilisation des circuits de commercialisation via des engagements de certains acheteurs 	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilité variable - Les surfaces restent faibles, notamment car la réglementation limite les volumes échangés
<p>e. Conséquences pour les exploitations agricoles</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sécurisation par la contractualisation et l'accompagnement technique - Contraintes sur les modalités de conduite des cultures - Associé à des trajectoires d'exploitation de type 2 	<ul style="list-style-type: none"> - Interactions directe avec les transformateurs, ce qui accroît les marges de manœuvre techniques - Investissement dans les relations avec l'acheteur et la production de connaissances - Associé à des trajectoires de type 1 ou de type 3 	<ul style="list-style-type: none"> - Instabilité de la place des cultures dans les exploitations - Difficulté des agriculteurs à trouver des acheteurs sur le long terme 	<ul style="list-style-type: none"> - Grand nombre de cultures possible, sur des surfaces qui restent faibles - Combinaison à d'autres modes de commercialisation des cultures - Associé à des trajectoires de type 3 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité de commercialiser une culture pour laquelle les agriculteurs n'ont pas d'autre débouché

3.1.1 Systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval

3.1.1.1 *Mode de coordination :*

Dans ce type de systèmes, représenté dans les 3 régions (voir Tableau 8 ; Chapitre 2 §3.2), l'approvisionnement est coordonné par l'aval à travers des contrats de production avec les agriculteurs, pour des volumes (voire des prix) fixés avant le début de la campagne de la culture de diversification (Tableau 9.a). Les premiers opérateurs de l'aval peuvent être des industries agroalimentaires (alimentation humaine ; 12 opérateurs), des fabricants d'alimentation animale (4 opérateurs) ou des entreprises semencières (5 opérateurs) directement en contact avec les agriculteurs ; ce sont souvent aussi des coopératives ou négoce (11 opérateurs), assurant juste la collecte, le tri, si nécessaire le séchage, avant le transfert à d'autres entreprises qui transforment ces produits, plus à l'aval de la filière (ex : négoce collectant la betterave pour une industrie sucrière ; 45-OCS-Sc¹³) ; ou bien ayant également des activités industrielles (ex : coopérative possédant une unité de transformation du chanvre pour la fabrication de panneaux isolants ; 01-OCS-Ve). Les contrats passés avec les agriculteurs visent à répondre aux besoins de ces activités industrielles en termes de volume et de qualité de la production. Ils sont pour cela accompagnés de cahiers des charges contraignants, portant sur les caractéristiques du produit (obligation de résultats) mais aussi sur des techniques de production (obligation de moyens). Ces contrats s'accompagnent d'un suivi rapproché de la production par les opérateurs aval au cours de la campagne, qui vise à accompagner les agriculteurs rencontrant des difficultés de conduite de la culture, mais également à prévoir au mieux le volume et la qualité de la récolte à venir.

Les cahiers des charges sur la conduite de la culture concernent le plus souvent la ou les variétés à planter, le niveau de fertilisation, ainsi que les interventions phytosanitaires « minimales » à prévoir au cours de la campagne. Le niveau de contrainte lié à ces cahiers des charges varie d'un système d'approvisionnement à l'autre. L'encadrement de la conduite de la culture peut ainsi aller jusqu'au déclenchement de la récolte du chanvre (01-OCS-Ve) ou du pois potager (23-IAA-Ma), ce qui permet notamment aux opérateurs aval de maîtriser la répartition des chantiers de récolte et de la collecte dans l'espace et dans le temps. Les contraintes les plus fortes imposées aux agriculteurs concernent les systèmes d'approvisionnement de cultures à haute valeur ajoutée (cultures industrielles, légumes, semences). L'industriel 46-IAA-Sc, acteur majeur de l'industrie légumière en Suède (betterave rouge, concombre, pomme de terre...), fournit ainsi à ses producteurs des fiches techniques (qui couvrent le travail du sol, les variétés, les dates et modes de semis, la fertilisation, la gestion des adventices, des maladies et des ravageurs, les dates et modes de récolte, et le stockage), des instructions sur la conduite et un accompagnement porté par des techniciens. La sucrierie 52-IAA-Sc conditionne l'implantation de la betterave sur une parcelle à la réalisation d'analyses du pH et du statut calcique du sol, ces analyses déterminant également les amendements qui seront nécessaires sur la parcelle ; tandis que l'industriel P. (23-IAA-Ma) définit des critères de taille minimale et de pente maximale des parcelles sur lesquelles le pois potager pourra être cultivé. Du côté des industries semencières, les contraintes concernent en premier lieu les délais de retour de la culture, mais s'appliquent également parfois à la proximité d'autres cultures

¹³ Les codes correspondent aux opérateurs de l'aval impliqués dans les systèmes d'approvisionnement de cultures de diversification. Pour chaque opérateur, on précise (i) s'il s'agit d'un opérateur de collecte et stockage (**OCS**), d'une industrie agroalimentaire (**IAA**), de fabrication d'alimentation animale (**FAA**) ou semencière (**Sem**), ou d'une exploitation agricole (**EA**) ; (ii) le territoire concerné : Vendée (**Ve**), Marches (**Ma**) ou Scanie (**Sc**).

dans la rotation, comme dans le cas de l'épinard et de la pomme de terre en Scanie (minimum 5 ans entre deux cultures d'épinard, et un an entre une culture d'épinard et une culture de pomme de terre ; 61-Sem-Sc), ou à la proximité d'autres parcelles de la même culture, comme dans le cas du colza (délai de retour de 8 ans, et isolement de 800 mètres vis-à-vis d'autres parcelles de colza ; 01-OCS-Ve). Dans certains cas extrêmes, l'intégralité de la conduite de la culture est prise en charge par l'opérateur aval, les agriculteurs fournissant alors uniquement des parcelles (pomme de terre 54-IAA-Sc, carotte 48-IAA-Sc, luzerne 25-FAA-Ma).

3.1.1.2 *Gestion des incertitudes sur la production :*

Au-delà de la définition de cahiers des charges portant sur la conduite de la culture, les opérateurs coordonnant ce type de systèmes d'approvisionnement mettent en œuvre différents leviers pour sécuriser la production en termes de volumes et de qualité de la collecte (voir Encadré 1 ; Tableau 9.b).

Pour s'assurer d'une certaine traçabilité du produit, le contrat porte très souvent à la fois sur un volume et/ou sur une surface (associée à une ou plusieurs parcelles). Il est alors fréquent que l'acheteur impose à chaque producteur une surface de culture supérieure à celle nécessaire en moyenne pour obtenir le volume contractualisé, afin de pallier le risque d'un rendement plus faible que prévu. L'acteur aval peut alors s'engager à acheter l'éventuel surplus de production de l'agriculteur au prix du marché.

En vue de sécuriser la production, les organismes de collecte définissent également des critères pour choisir les agriculteurs à qui seront attribués les contrats. Ces critères concernent le plus souvent la « technicité » des agriculteurs (08-Sem-Ve, 20-IAA-Ma – Encadré 1 –, 23-IAA-Ma, 61-Sem-Sc, 62-Sem-Sc), décrite par les acteurs de l'aval comme la capacité des agriculteurs à suivre l'état de leur culture et à réaliser les interventions appropriées, à suivre de manière précise (en particulier pour les dates d'intervention) le cahier des charges de conduite de la culture, et globalement à assurer les engagements pris auprès de l'acheteur en termes de niveau de production et de qualité de la production. Cette « technicité » est généralement évaluée par le conseiller ou la conseillère en contact direct avec l'agriculteur, sur la base des résultats des campagnes précédentes (y compris sur d'autres cultures que la culture de diversification concernée). C'est une caractéristique qui est plus accordée à l'agriculteur qu'attachée à la nature de la culture concernée. Elle est réévaluée chaque année en fonction des résultats de l'agriculteur et de ses relations avec l'organisme de collecte.

Le choix des agriculteurs qui produisent la culture de diversification est également fait sur la base de leur « fidélité » à l'organisme collecteur, de manière soit informelle (l'agriculteur travaille depuis X années avec l'acheteur et une relation de confiance est établie entre les deux), soit formelle (engagement d'exclusivité de l'agriculteur envers l'organisme collecteur pour l'achat d'intrants et/ou pour la vente de ses productions ; 01-OCS-Ve).

Enfin, les opérateurs de l'aval coordonnant ces systèmes d'approvisionnement réalisent différents investissements qui leur permettent de sécuriser le volume et la qualité de la production : ceux-ci concernent la logistique de collecte ou les infrastructures de stockage, ces deux activités étant ici rarement assurées par les agriculteurs (ou alors dans des conditions très encadrées par les cahiers des charges). Pour certains chantiers, comme la récolte, les opérateurs acquièrent les équipements ou délèguent la mise en œuvre à des entreprises spécialisées dotées d'une main d'œuvre compétente : par exemple pour la récolte du chanvre pour 01-OCS-Ve, du pois potager pour 23-IAA-Ma, 51-IAA-Sc ou 57-IAA-Sc, ou de la betterave sucrière

pour 31-IAA-Ma). Pour certains systèmes d’approvisionnement, cette prise en charge par l’aval de la filière va jusqu’à s’occuper intégralement des interventions de conduite de la culture : c’est le cas de l’industrie agroalimentaire 54-IAA-Sc, qui collecte de la pomme de terre de consommation en agriculture biologique auprès des agriculteurs de l’exploitation agricole S4, ces derniers ne possédant pas les capacités d’investissement pour s’équiper en matériel de conduite de la pomme de terre, et ayant peu de disponibilités aux périodes d’interventions sur la culture. Les agriculteurs prennent alors uniquement en charge la préparation du sol avant l’implantation, la fumure et l’irrigation, ainsi que la surveillance de la parcelle pour prévenir l’opérateur des besoins en désherbage.

En parallèle des contrats passés avec les agriculteurs, les opérateurs de l’aval impliqués dans ces systèmes d’approvisionnement cherchent à garantir les volumes et les prix de vente des produits transformés issus de la culture de diversification. Certains d’entre eux passent des contrats à l’avance avec les transformateurs ou distributeurs suivants dans la filière (01-OCS-Ve, 17-FAA-Ma, 18-OCS-Ma). Mais l’obtention d’engagements anticipés, en particulier auprès de la distribution, est très rare pour les cultures de diversification, ce qui constitue une difficulté pour les premiers acheteurs de la production (01-OCS-Ve, 18-OCS-Ma, 20-IAA-Ma, 22-OCS-Ma, 23-IAA-Ma). Certains premiers opérateurs de l’aval ont alors recours à l’internalisation d’activités de transformation (01-OCS-Ve a lancé une activité de transformation jusqu’au produit fini pour sécuriser et capter la valeur ajoutée ; 45-OCS-Sc possède plusieurs outils de transformation, par exemple pour l’alimentation animale) ou à la différenciation des produits (création de leur propre marque pour l’épeautre collecté par 20-IAA-Ma, et par 01-OCS-Ve pour certains produits, dont les légumes secs ; mise en avant de la traçabilité des pratiques pour l’ensemble des cultures collectées par 22-OCS-Ma).

Encadré 1. Exemple d’articulation de différents leviers de gestion des risques : le cas de l’épeautre amidonnier dans les Marches

L’entreprise P. (20-IAA-Ma) est spécialisée dans la collecte d’épeautre amidonnier. Au cours du développement de la filière, l’entreprise a mobilisé un ensemble de leviers à différents niveaux d’organisation pour gérer les incertitudes sur la production et sur la commercialisation de la culture et des produits qui en sont issus.

L’ambition de départ de l’opérateur était le développement d’une alternative au blé dur, dominant dans la région, avec une culture dont les caractéristiques sont proches, mais qui peut présenter un meilleur potentiel dans des zones moins productives (zones de colline et de moyenne montagne) ou en production biologique (fertilisation réduite, absence de désherbage chimique). Ce sont donc les agriculteurs correspondant à ces caractéristiques qui ont été ciblés en priorité par l’opérateur.

Au cours des premières années de développement de la filière, l’opérateur a travaillé avec une industrie semencière à la création de variétés d’épeautre amidonnier adaptées aux conditions locales et aux exigences du débouché en alimentation humaine. Ces variétés ont ensuite été proposées aux agriculteurs comme une opportunité d’implanter une culture rustique alternative au blé. Pour fidéliser les agriculteurs, l’opérateur leur propose des prix garantis avant le semis, voire sur plusieurs années, qui assurent un revenu plus stable qu’avec le blé dur, dont les prix sont très instables. L’opérateur a recherché des producteurs dans plusieurs zones géographiques, pour réduire les risques sur les volumes et la qualité, notamment liés à des aléas climatiques.

L’incertitude sur les volumes et sur la qualité est par ailleurs gérée à travers un suivi rapproché des parcelles de production, qui contribue à une segmentation de la production en fonction de la qualité. Un contrat, assorti de l’obligation d’utiliser des semences certifiées, est mis en place avec les agriculteurs au semis. Au cours de la campagne, les parcelles sont suivies afin d’assurer un accompagnement des

agriculteurs et une traçabilité des pratiques. Ce suivi permet à l'opérateur d'anticiper la qualité à l'échelle de la parcelle, et de planifier les lots qui seront constitués à la récolte, après des analyses complémentaires. La collecte est regroupée sur le site principal de l'opérateur, où les infrastructures permettent un stockage en cellules de 100 t, et donc une différenciation des lots selon la qualité, aboutissant à leur orientation vers différents usages.

L'opérateur vise à réduire les risques associés à la commercialisation (volumes, prix) en proposant une gamme de produits de l'épeautre et en vendant à une diversité de clients. Une partie de la production (céréales décortiquées, farines) est vendue à des transformateurs. Une autre partie est vendue à des distributeurs sous une forme plus transformée, et sous la marque de l'entreprise, grâce à des partenariats avec des transformateurs.

De la même manière qu'avec les agriculteurs, l'entreprise cherche à fidéliser ses acheteurs en valorisant les caractéristiques de la culture (notamment par rapport au blé tendre ou au blé dur) : des partenariats avec des experts en procédés de transformation permettent de définir des pratiques de transformation adaptées (par exemple pour la panification et l'utilisation en pizzeria) et de former les clients de l'opérateur sur ces pratiques. L'opérateur fournit enfin à ses clients des outils de communication auprès des consommateurs, par exemple sur la digestibilité des produits issus de l'épeautre (gluten moins tenace que dans les blés modernes, amidon à digestion plus lente avec un meilleur indice glycémique...).

3.1.1.3 Production et circulation des connaissances :

La sécurisation de la production passe également par le développement de références et de capacités d'accompagnement technique des agriculteurs sur la conduite de la culture de diversification dans le contexte local. Ces références contribuent à la formulation des spécifications techniques prévues dans les contrats de production, et donc des obligations de moyens à mettre en œuvre par les agriculteurs producteurs de la culture (Tableau 9.c). Ainsi, l'industriel 31-IAA-Ma, cherchant à développer la production de betterave sucrière biologique dans les Marches, fournit à ses producteurs des spécifications techniques très précises qui incluent les pratiques de fertilisation, la fréquence de sarclage, le nombre de traitements au cuivre, l'utilisation d'une variété certifiée, etc. A défaut de références locales sur certains aspects de la production, les cahiers des charges sont alors moins précis sur ces points.

L'accompagnement technique des agriculteurs est particulièrement important lors des premières années de développement de la filière, notamment lorsque des investissements ont été réalisés (par exemple équipements de récolte, de transformation) et qu'un volume collecté minimal doit être atteint pour assurer la rentabilité de ces investissements. C'est le cas par exemple pour les filières de chanvre industriel (01-OCS-Ve) ou de betterave sucrière biologique (31-IAA-Ma) qui sont associées à des outils industriels coûteux. La définition d'objectifs de rendement et l'atteinte de ces objectifs, associés à l'engagement d'un nombre de producteurs suffisant, est alors cruciale pour atteindre ces volumes seuils. Des difficultés techniques considérées comme un échec par les agriculteurs lors des premières années d'introduction de la culture les conduisent souvent à abandonner cette culture et obligent l'acheteur à rechercher de nouveaux producteurs. Cela a par exemple été le cas pour des producteurs de chanvre (01-OCS-Ve) ayant implanté la culture sur des parcelles à trop faible réserve en eau.

Les opérateurs de l'aval cherchent donc à anticiper et à réduire les difficultés techniques, pour qu'elles ne remettent pas en cause la rentabilisation des investissements, ni l'adhésion des agriculteurs à la culture. Pour produire des connaissances sur la culture de diversification, les opérateurs de l'aval mettent souvent en place leurs propres dispositifs de back-office : plateformes d'essais de variétés ou d'itinéraires techniques par exemple. Ces dispositifs s'accompagnent le plus souvent de partenariats (i) avec des agriculteurs (01-OCS-Ve, 23-IAA-

Ma, 31-IAA-Ma, 57-IAA-Sc, 62-Sem-Sc) pour tester une diversité de contextes¹⁴ ou (ii) avec des structures de conseil ou de recherche lorsque les structures aval ne disposent pas en interne des compétences pour mettre en place ce type de dispositif : opérateurs trop petits pour disposer de capacités de R&D comme 20-IAA-Ma (voir Encadré 1), cultures peu maîtrisées comme les associations de cultures pour 17-FAA-Ma, critères de qualité nouveaux et peu référencés, comme la qualité nutritive en alimentation humaine (20-IAA-Ma, voir Encadré 1).

Les compétences des opérateurs concernant la gestion de la culture de diversification évoluent au cours du temps (voir Encadré 2), en particulier dans les premières années de production : cela se traduit par des ajustements, par les opérateurs, (i) du contenu des spécifications techniques dans les contrats, (ii) du conseil aux agriculteurs, mais aussi (iii) de leurs attentes vis-à-vis de la culture (révision des objectifs de rendement ou des critères de qualité). Ainsi, en Vendée, suite à des difficultés à trouver un nombre de producteurs et une surface de production suffisante pour rentabiliser son outil de transformation du chanvre textile, l'opérateur 01-OCS-Ve a décidé de transformer également la paille de lin oléagineux (mélangée au chanvre), et propose donc des contrats pour cette culture aux agriculteurs. Dans les Marches, suite à des problèmes récurrents d'adventices dans les cultures de légumineuses à graines biologiques, l'opérateur 17-FAA-Ma a décidé de mettre en place des expérimentations d'associations légumineuses-céréales. Certains opérateurs anticipent ces difficultés et ces apprentissages incontournables en prévoyant d'augmenter progressivement le nombre de producteurs et les volumes produits pendant les premières années de production.

Encadré 2. Exemple d'apprentissages par un opérateur de l'aval : le développement d'une expertise autour des « filières » en Vendée.

L'opérateur 01-OCS-Ve a développé successivement différentes filières de segmentation des marchés des cultures principales, de semences, puis de cultures de diversification au cours du temps, ce qui lui a permis d'acquérir des compétences et des infrastructures, qui ont été en partie remobilisées d'une culture à l'autre.

Le développement de ces filières a commencé par la segmentation des marchés du blé tendre et du maïs, cultures principales sur le territoire, dans l'objectif de se démarquer d'organismes concurrents, du territoire ou des territoires voisins. Ce faisant, l'opérateur a progressivement développé une expertise dans la gestion de partenariats avec des transformateurs (meuneries, semouleries...) ayant des cahiers des charges spécifiques, et dans la gestion de la traçabilité des pratiques et de la diversité de lots associées à ces cahiers des charges. Cette expertise a été remobilisée pour développer des filières de production de semences, d'abord pour le maïs (environ 1500 ha en 2018), puis pour d'autres cultures y compris de diversification : blé, orge ou colza hybrides, graminées fourragères, luzerne (environ 500 ha en 2019), trèfle violet. Le savoir-faire développé autour de ces filières a inclus l'allocation des cultures à différentes zones de production sur le territoire (bocage, plaine) en fonction de leurs caractéristiques. Par la suite, les infrastructures (tri, stockage) et les compétences techniques et organisationnelles développées autour de la gestion des productions de semences (accompagnement des agriculteurs, récolte et opérations post-récolte) ont permis de développer une gamme de filières de légumes secs. Le point de départ de cette gamme a été le haricot mogette sous AOP. Pour commercialiser ce produit, l'opérateur a développé sa propre marque et pris contact directement avec des grandes et moyennes surfaces. La marque et les partenariats ont été remobilisés pour le développement de la production de lentille (environ 1200 ha en 2019, dont 400 ha en AB), puis de pois chiche à partir de 2016.

¹⁴ Dans ce cas, la production de références passe soit par un suivi des parcelles de la part de l'organisme de collecte, soit par les retours d'expérience des agriculteurs ayant conduit la culture

L'opérateur continue à faire évoluer la gamme de cultures qu'il collecte et les débouchés associés. Le choix des filières développées dépend avant tout des possibilités de commercialisation du produit. L'opérateur s'organise alors pour répondre à cette demande, en termes de qualité mais aussi en termes de maîtrise des volumes, qui doivent être suffisants mais pas trop importants (les prix de marché hors de partenariats avec l'aval étant considérés comme trop bas). Les cultures doivent par ailleurs pouvoir être produites sur le territoire par des agriculteurs pour lesquels l'opérateur identifie des attentes différentes selon qu'ils sont en agriculture biologique ou en conventionnel, céréaliers ou éleveurs, irrigants ou non.

3.1.1.4 Développement et stabilisation des filières :

Les systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval concernent majoritairement des filières longues, comportant généralement une phase de transformation industrielle, associée à des investissements dans des infrastructures (de stockage, de transformation), et des volumes importants (Tableau 9.d). Ainsi, la filière de chanvre industriel en Vendée (01-OCS-Ve) représente en 2021 1600 ha, tandis que dans les Marches, la fabrication d'aliments pour animaux en agriculture biologique par l'entreprise 17-FAA-Ma représente environ 1000 ha de pois protéagineux, féverole, blé tendre et sorgho, dans des proportions variables selon les années. En Scanie, les filières industrielles concernent en 2021 5700 ha pour la pomme de terre féculière (50-IAA-Sc) et 27500 ha pour la betterave sucrière (52-IAA-Sc). Les opérateurs de l'aval cherchent à maîtriser les volumes produits pour qu'ils coïncident avec les capacités de transformation et de commercialisation de la filière (voir Encadré 2). Les surfaces de production des cultures associées à ces systèmes d'approvisionnement sont donc plus stables dans le temps que pour d'autres systèmes. Des évolutions du contexte politique ou économique peuvent cependant conduire à des changements relativement brutaux dans les surfaces de production : voir Encadré 3 ci-dessous.

Encadré 3. Contexte politique et économique et évolutions des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval : les cas du petit pois surgelé et de la betterave sucrière en Scanie et dans les Marches.

Le pois potager est une culture de diversification historique pour la Scanie, où il a longtemps été collecté par l'industriel 51-IAA-Sc pour la surgélation, à destination principalement de l'export. L'usine a cependant fermé en 2017 suite à plusieurs rachats et à de mauvais résultats économiques attribués aux prix bas. La production a alors été relocalisée dans d'autres régions d'Europe, notamment en Allemagne, mais aussi en Italie : dans les Marches, l'opérateur 23-IAA-Ma collecte entre 2500 et 3000 hectares de pois potager pour la surgélation. Cet opérateur rapporte que la demande en pois surgelé a augmenté à partir de 2019 en lien avec la fermeture de l'usine suédoise, ce qui amène 23-IAA-Ma à envisager de proposer aux producteurs des contrats pluriannuels, afin de les fidéliser et d'atteindre les volumes correspondant à cette augmentation de la demande. L'industriel rencontre cependant des difficultés importantes dans la stabilisation de la commercialisation de ses produits auprès de la distribution, où il n'arrive pas à obtenir de contractualisation à l'avance (la reconduction des contrats d'une année sur l'autre est tacite) et où les prix sont tirés vers le bas. Dans le même temps, en Suède, des acteurs de l'agroalimentaire font le constat qu'il existe toujours une demande à l'export (Etats-Unis, Chine, Australie...) pour du pois surgelé « de Scanie » qui s'avère avoir des caractéristiques particulières (calibre, qualités organoleptiques). La coopérative 57-IAA-Sc est créée et reprend les infrastructures de l'industrie 51-IAA-Sc. La production de pois pour la surgélation reprend à partir de 2018, pour atteindre 2500 tonnes de production en 2020, avec un objectif de production de 20 000 tonnes en 2024 et 30 000 tonnes à plus long terme. La coopérative démarre la construction d'un nouvel outil de transformation en 2021.

La betterave représente 28 700 ha en Suède en 2020, dont la très grande majorité en Scanie. Les surfaces de production ont eu tendance à diminuer depuis 2000 au profit des céréales (blé tendre et orge de printemps) et du colza. En réaction à la disparition des quotas 2015-2016, l'industriel 52-IAA-Sc met en place des accords de réduction des surfaces cultivées avec les producteurs de betterave. Au total, les surfaces de betterave sucrière sont divisées par deux en Suède entre 2000 et 2021. Dans les Marches, les sucreries historiques ont fermé dans les années 2005-2006 à la suite d'une répartition des quotas de production de sucre entre régions européennes, conduisant à une simplification des systèmes de culture autour du blé dur et du tournesol. La disparition des quotas ouvre de nouvelles possibilités aux industries sucrières, et une usine de production de sucre biologique (31-IAA-Ma) s'implante en Emilie-Romagne. L'industriel collecte de la betterave sucrière jusque dans les Marches à partir de 2018. En 2020, la production totale de l'usine est issue de 149 exploitations agricoles produisant 1 600 hectares de betterave sucrière.

3.1.1.5 Conséquences pour les exploitations agricoles :

Pour les agriculteurs qui diversifient, ce type de système d'approvisionnement constitue une modalité de commercialisation sécurisante, du fait de la contractualisation en amont sur les volumes et les prix, et de l'accompagnement rapproché mis en place par les acteurs de l'aval (Tableau 9.e). Certains agriculteurs, notamment en Vendée (Figure 10.b ci-dessous), ne souhaitent cependant pas s'engager dans ce mode de coordination, du fait du manque de flexibilité qui caractérise ces systèmes d'approvisionnement : marges de manœuvre trop faibles sur les pratiques, en termes d'utilisation d'intrants, et sur les prix de vente, et donc in fine sur les marges. Les contraintes contractuelles sur la conduite de la culture de diversification (caractéristiques des parcelles éligibles, périodes de semis et de récolte, ressource en eau mobilisée...) ne tiennent pas compte de leur potentiel effet négatif sur les autres cultures de la succession (retard de semis, pointe de travail, niveaux de bioagresseurs ...). Les agriculteurs qui cherchent à diversifier leurs cultures pour optimiser les régulations biologiques sont donc réticents quand le cahier des charges de la culture de diversification est en contradiction avec ces objectifs¹⁵. Ainsi, les agriculteurs de l'exploitation agricole S1 décident après quelques années d'arrêter la production de carotte en agriculture biologique pour une entreprise agroalimentaire (48-IAA-Sc). En effet, même si cette entreprise possédait toutes les machines nécessaires à la conduite de la culture et en gèrait les chantiers mécanisés, les agriculteurs ont constaté que les critères de qualité fixés par l'entreprise en termes de calibre et de qualité visuelle devenaient de plus en plus stricts, et qu'un pourcentage de plus en plus faible de la production était accepté et rémunéré. Les agriculteurs ne considérant pas ces critères de qualité comme pertinents, et la conduite de la culture représentant pour eux une charge de travail importante, ils ont décidé d'arrêter de travailler avec cette entreprise.

Ces systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval sont souvent mobilisés par des agriculteurs engagés dans une trajectoire de diversification de type 2, correspondant à une augmentation régulière de la surface de quelques cultures de diversification de vente (voir Chapitre 1) : les systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval représentent 63% des systèmes d'approvisionnement mobilisés par les agriculteurs de type 2 (jusqu'à 79% en Vendée) ; en retour, 45% des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval sont mobilisés par les agriculteurs enquêtés de type 2 (Figure 10).

¹⁵ Par exemple, objectifs de réduction du travail du sol, de réduction de l'utilisation d'intrants, ou d'accroissement de la flexibilité dans les dates d'intervention, notamment pour les exploitations agricoles ayant des ateliers d'élevage.

3.1.2 Systèmes d’approvisionnement co-construits entre les agriculteurs et l’aval

3.1.2.1 *Mode de coordination :*

Dans ce type de système, représenté dans les 3 régions (voir Chapitre 2 §3.2), l’approvisionnement est géré par une coordination directe entre les agriculteurs producteurs de la culture et un transformateur, sans intermédiaire entre ces deux maillons de la filière. Les modalités de conduite de la culture de diversification, voire les critères de performance de cette culture font l’objet de négociations entre les agriculteurs et l’acheteur. Selon les cas, cette coordination entre agriculteurs et transformateurs passe par un engagement formel, avec une contractualisation en amont de la campagne de production, ou (mais seulement dans les cas où le nombre d’interlocuteurs concernés est faible) par un engagement informel entre les deux parties.

Ces systèmes d’approvisionnement sont créés suite à la sollicitation d’un partenaire potentiel par l’une ou l’autre partie. Agriculteurs et opérateur de l’aval échangent autour d’un intérêt commun à développer une culture ou un produit de diversification donné. Il s’agit en général d’acteurs n’ayant pas l’habitude de travailler ensemble, et qui cherchent à se passer d’intermédiaire (voir Encadré 4).

Les critères de performance et des modalités de conduite de la culture sont issus le plus souvent de la négociation d’un compromis entre les « critères de satisfaction » de l’agriculteur et les critères de qualité de l’aval, qui se traduit, par exemple, par le choix d’une variété de pomme de terre pour les agriculteurs de l’exploitation S1 et l’entreprise 47-IAA-Sc. Les critères de l’agriculteur sont divers : certains agriculteurs mettent en avant la flexibilité dans les dates d’intervention sur la culture (c’est le cas par exemple du groupe d’éleveurs produisant des légumes pour 03-IAA-Ve, pour qui les ateliers d’élevage sont prioritaires dans l’organisation du travail), ou le niveau d’utilisation d’intrants. Les attentes de l’opérateur aval, en termes de qualité, sont également variables en fonction de la culture et de la filière, mais plus souples que dans le cas des « systèmes d’approvisionnement coordonnés par l’aval » : ainsi, l’entreprise 53-IAA-Sc laisse à l’agriculteur S3 la possibilité de pratiques de traitements phytosanitaires et de fertilisation différentes de celles qu’ils recommandent, tant que les rendements et la qualité de la culture restent satisfaisants. Le compromis entre les attentes des agriculteurs et celles des opérateurs de l’aval se traduit par des prescriptions relatives aux modalités de conduite de la culture qui concernent, selon les cas, la liste des variétés possibles pour la culture, les interventions clés à réaliser au cours de la campagne, ou les critères de déclenchement de la récolte. La négociation entre les acteurs permet également de définir les pratiques sur lesquelles une marge de manœuvre est laissée à l’agriculteur : par exemple la modulation des interventions de désherbage ou d’irrigation au cours de la campagne, en fonction des conditions agronomiques (agriculteur S3 pour l’oignon vendu à l’entreprise 53-IAA-Sc, agriculteur F15 pour la production de semences vendues à l’entreprise 12-Sem-Ve). La coordination entre les agriculteurs et l’aval repose donc sur une relation de confiance, et sur des obligations de résultats plutôt que de moyens.

Encadré 4. Les systèmes d’approvisionnement co-construits agriculteurs-aval, lieux de négociation des caractéristiques de la production, mais aussi de réduction des coûts : le cas de l’agriculteur S8

L'agriculteur S8 s'est installé récemment, après avoir travaillé dans d'autres exploitations, sur une grande exploitation (330 ha de SAU) qu'il convertit à l'agriculture biologique. Il cherche à se détacher de la commercialisation à la coopérative locale (via des systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché, cf. chapitre 2, §3.1.3 ci-dessous) pour aller vers une commercialisation directe à des transformateurs (voire des agriculteurs), en gérant lui-même le stockage et la livraison de ses productions. Il donne pour cela les explications suivantes (traduit de l'anglais) :

Verbatim (traduit de l'anglais) :

S8 : « *c'est très rentable d'avoir son propre stockage en bio (...) parce que les systèmes logistiques en Suède ne sont pas conçus pour le bio. Ils sont conçus pour le conventionnel. Des productions à grande échelle, de gros, et si j'arrive avec 50 tonnes de grains biologiques et qu'ils ont 5000 tonnes en conventionnel, ça veut dire qu'il va y avoir un gros problème pour eux pour gérer ça dans leur grand stockage (...) ils n'ont pas de petits silos et la règle c'est qu'il faut nettoyer tout l'équipement avant de prendre du bio (...) donc ça leur coûte cher de gérer, d'organiser... donc ils payent très peu, les agriculteurs doivent payer tous les coûts pour ce travail supplémentaire qu'ils ont (...) »*

Enquêtrice : « *Donc vous, vous avez investi dans du stockage pour pouvoir avoir plusieurs productions avec des faibles quantités ? »*

S8 : « *Oui, j'ai un système, où je sèche à plat, sur plusieurs étages ; je n'ai pas de silos, c'est un système très simple, pas cher, où j'utilise mon chargeur pour déplacer les productions, donc je n'ai pas d'excavatrice ou de choses comme ça ; mais ça veut aussi dire que je suis flexible parce que parfois tu récoltes une culture avec beaucoup de graines de mauvaises herbes et là tu as de gros problèmes... au niveau du stockage... donc, c'est bien d'avoir un système où tu peux juste prendre ta récolte et la mélanger un peu et ensuite tu peux continuer... à la sécher et n'avoir aucun problème avec, pas de champignons dedans. (...) à chaque fois que tu dois transporter ta récolte, ça coûte de l'argent et si tu as de gros volumes, les coûts sont plus bas ; si tu as des petits volumes, le coût sera plus élevé, donc on essaye de réduire les coûts et de réduire le nombre de personnes ou d'entreprises qui doivent transporter nos productions. »*

3.1.2.2 *Gestion des incertitudes sur la production :*

La négociation des modalités de conduite de la culture et de ses critères de performance implique des tâtonnements et une incertitude sur la production, en particulier au cours des premières années de développement de la filière. Les agriculteurs limitent souvent les risques en ne semant la culture que sur une faible surface, qui augmente avec la maîtrise de l'itinéraire technique. Dans certains cas, la négociation aboutit à des engagements de prix sur plusieurs années (féverole et lin oléagineux collectés par 02-OCS-Ve : contrat sur 3 ans pour un volume, avec un prix basé sur la moyenne des prix sur 2-3 ans).

Pour les opérateurs de l'aval, l'incertitude sur les volumes et sur la qualité de la production est liée non seulement aux incertitudes climatiques mais également à la faible maîtrise de la conduite de la culture par certains producteurs, en particulier les premières années, ainsi qu'au manque de références et de sélection variétale adaptées au territoire. Certains opérateurs intègrent cette incertitude à leur stratégie : en planifiant de compléter la production locale par des achats extérieurs dans un premier temps (47-IAA-Sc), ou en prévoyant de ne pas commercialiser la culture les premières années, où des volumes faibles sont produits, pour se donner le temps de construire ensemble les références de production et les seuils de qualité pertinents pour les deux parties (44-IAA-Sc). Cela représente une forme d'investissement en R&D pour ces acheteurs.

Les infrastructures et le matériel nécessaires à ces systèmes d'approvisionnement (équipements pour la récolte, le stockage, la transformation...) sont le plus souvent pensés pour nécessiter le moins d'investissements possibles, en réutilisant des équipements existants

(comme pour l'approvisionnement en féverole et en lin oléagineux de l'opérateur 02-OCS-Ve, où des agriculteurs possédant une grande capacité de stockage prennent en charge la production des agriculteurs proches) ou en acquérant des équipements d'occasion. Les investissements sont généralement partagés entre agriculteurs et opérateur de l'aval (cas de la filière pomme de terre 03-IAA-Ve où les agriculteurs et l'industrie agroalimentaire ont constitué une structure juridique partagée qui possède le matériel, acheté d'occasion).

3.1.2.3 Production et circulation des connaissances :

Le développement de connaissances et de références dans ces systèmes d'approvisionnement repose fortement sur les agriculteurs. Ce sont principalement eux qui décident des modalités de conduite de la culture, pour atteindre les objectifs négociés avec l'aval, parfois après avoir eux-mêmes proposé de développer la production de cette culture, et qui définissent progressivement un itinéraire technique approprié pour la culture de diversification. Les agriculteurs producteurs de pomme de terre pour les opérateurs 03-IAA-Ve ou 47-IAA-Sc choisissent les variétés qu'ils cultivent, en fonction de critères de rendement et de résistance aux maladies, en s'assurant qu'elles répondent aux attentes de l'aval (variété à chair ferme pour 03-IAA-Ve, adaptation à la transformation en frites testée par l'opérateur 47-IAA-Sc). Pour la production d'oignon en Scanie, l'agriculteur S3 s'affranchit des préconisations fournies par l'entreprise A. (53-IAA-Sc) pour choisir les parcelles dans lesquelles il implante la culture, en privilégiant la facilité de la récolte, et l'implantation de la culture suivante. Il raisonne la fertilisation et les traitements phytosanitaires en fonction des retours d'expérience d'autres producteurs d'oignons et de sa propre expertise, et obtient malgré tout une production jugée satisfaisante pour l'entreprise.

Les opérateurs aval fournissent aussi, le plus souvent, des références génériques sur la culture, souvent issues d'autres zones de production, mais disposent de moins d'expertise agronomique locale sur la conduite de la culture que dans les systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval. Certains des opérateurs aval (19-IAA-Ma, 44-IAA-Sc) ne disposent pas de compétences agronomiques sur leurs cultures de diversification, mais font ponctuellement appel à des agronomes externes en appui, qui ont aussi un rôle dans la capitalisation des expériences des agriculteurs.

3.1.2.4 Développement et stabilisation des filières :

Plusieurs années de tests sont nécessaires pour définir les modalités de conduite de la culture, avec des apprentissages qui concernent à la fois le fonctionnement de la culture dans le contexte local, les attentes respectives des agriculteurs et de l'aval, et les leviers techniques qui permettent de répondre à ces attentes. Cela se traduit par des incertitudes fortes lors des premières années de développement de la culture, qui se réduisent progressivement grâce aux interactions rapprochées entre les agriculteurs et l'opérateur aval. Le nombre d'agriculteurs impliqués dans ces systèmes d'approvisionnement reste assez faible, ce qui facilite apprentissages et interactions. Les systèmes d'approvisionnement co-construits reposent parfois sur un seul producteur (pomme de terre pour 47-IAA-Sc, chia pour 44-IAA-Sc), souvent sur un groupe d'une dizaine à une trentaine de producteurs. Le nombre de producteurs et les surfaces représentées par chacun évoluent d'une année sur l'autre, les opérateurs aval cherchant à trouver quelle situation est la plus satisfaisante pour eux. L'opérateur 02-OCS-Ve cherche ainsi, pour ses filières de lin oléagineux et de féverole, à avoir suffisamment de

producteurs pour que les volumes ne dépendent pas trop d'un producteur donné, sans que la gestion devienne trop complexe du fait d'un trop grand nombre de producteurs. L'opérateur 44-IAA-Sc cherche des producteurs prêts à s'engager pour des surfaces de production pas trop faibles au regard de leur SAU totale, car il considère que c'est une garantie d'un plus grand investissement des agriculteurs sur la réussite de la culture (en termes de soin apporté à la conduite et aux apprentissages sur le long terme).

Les dynamiques de stabilisation de ces systèmes d'approvisionnement, au-delà des premières années de production, sont variables. Pour certains opérateurs aval (industrie 53-IAA-Sc par exemple), ce type de système d'approvisionnement constitue une étape exploratoire pour la production d'une nouvelle culture¹⁶, avant un changement d'échelle vers des surfaces et des volumes plus importants, associé à un fonctionnement du système d'approvisionnement de type « coordonné par l'aval ». Dans de nombreux cas, cependant, le fonctionnement en co-construction s'installe dans la durée, avec un nombre d'agriculteurs et des volumes qui restent relativement faibles. Ceci concerne notamment des structures qui ont été créées dès le départ avec l'objectif de travailler en direct avec les agriculteurs, et qui visent des circuits de commercialisation pour lesquels les volumes sont limités (alimentation humaine, vente locale) : 19-IAA-Ma (avoine, haricot, lentille, millet, orge, pois chiche, sarrasin, sésame), 21-IAA-Ma (carthame, chanvre, chia, courge, lin, sésame, tournesol), 44-IAA-Sc (amaranthe, cameline, chanvre, chia, féverole, lentille, lupin, pois potager, quinoa, tournesol), 47-IAA-Sc (pomme de terre). Certains de ces opérateurs (19-IAA-Ma, 44-IAA-Sc) ont connu une croissance forte de leurs activités sur les filières de diversification, mais celle-ci est passée par un élargissement de la gamme de cultures de diversification collectées ou l'implantation dans de nouveaux territoires plutôt que par l'augmentation des volumes pour une culture donnée.

3.1.2.5 Conséquences pour les exploitations agricoles :

Ces systèmes d'approvisionnement sont mobilisés par une diversité d'agriculteurs (Figure 10) à qui ils permettent de trouver des débouchés pour de nouvelles cultures. Sept agriculteurs ne mobilisent qu'un seul système d'approvisionnement de ce type, qui vient en complément d'autres débouchés pour les autres cultures ; mais ils s'investissent particulièrement sur la culture concernée par ce système d'approvisionnement co-construit, tant pour ce qui concerne les relations avec l'acheteur que la production de connaissances sur la culture. Pour quatre autres agriculteurs, engagés dans des trajectoires de type 1 ou de type 3, il s'agit au contraire du mode de commercialisation privilégié, qui leur permet de trouver des débouchés pour une gamme de cultures, souvent auprès du même opérateur. Ces systèmes d'approvisionnement répondent aux attentes d'agriculteurs qui souhaitent être en interaction directe avec les transformateurs de leurs productions et avoir davantage d'influence sur le devenir de ces productions. Pour ces cultures, les agriculteurs bénéficient à la fois de marges de manœuvre techniques plus importantes que dans les systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval, et d'une plus grande sécurisation de la commercialisation à moyen terme que dans les systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché ou par les agriculteurs (voir §3.1.3, 3.1.4, 3.1.5 ci-dessous).

¹⁶ ou d'une culture déjà connue, mais dans une nouvelle zone de production.

3.1.3 Systèmes d'approvisionnement coordonnés par les marchés

3.1.3.1 *Mode de coordination :*

Dans ce type de systèmes (que nous n'avons pas retrouvé dans les Marches ; voir Figure 10.b), la coordination entre agriculteurs et opérateurs de l'aval est faible, avec des contrats de commercialisation passés après la récolte ou peu avant. La définition des prix et de la qualité du produit est fixée par des marchés nationaux ou internationaux où un grand nombre d'acheteurs interviennent, faisant de ce produit une matière première banalisée. Les acheteurs sont des opérateurs qui collectent des volumes importants et en particulier le gros des volumes des cultures principales du territoire (01-OCS-Ve, 02-OCS-Ve, 05-OCS-Ve, 07-FAA-Ve, 45-OCS-Sc, 49-OCS-Sc). Tous ces opérateurs, sauf deux (01-OCS-Sc et 02-OCS-Sc) sont impliqués uniquement dans des systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché. Les cultures collectées dans le cadre de ces systèmes, même si elles sont peu développées sur le territoire, sont largement cultivées et connues par ailleurs (colza, orge, tournesol, féverole, pois, soja...), et leur valorisation se fait principalement en alimentation animale. Pour ces cultures, la définition du produit attendu par le marché reste limitée et concerne des obligations de résultats : respect de la réglementation, critères de propreté ou de composition du produit commun à un grand nombre d'acheteurs. Des critères de qualité supplémentaires, connus à l'avance, permettent parfois aux agriculteurs d'accéder à des prix plus élevés. Dans quelques cas plus rares, il peut s'agir de cultures moins répandues (sarrasin, lupin) que l'opérateur n'a pas contractualisées mais qu'il accepte d'acheter ponctuellement à un agriculteur lui fournissant d'autres productions. Ces cultures sont alors vendues uniquement après la collecte, une fois les volumes et la qualité connue.

3.1.3.2 *Gestion des incertitudes sur la production :*

L'incertitude sur les volumes et la qualité de la production dans ces systèmes d'approvisionnement est forte jusqu'à la récolte, et contribue à l'instabilité des prix. Les opérateurs de l'aval cherchent à réduire les risques sur ces résultats en diversifiant les zones de collecte et les producteurs. La liberté laissée aux agriculteurs dans ces systèmes d'approvisionnement, dans le choix de leurs fournisseurs, de leurs itinéraires techniques et de leurs acheteurs, intéresse ceux qui souhaitent avoir une autonomie décisionnelle forte dans la gestion de leurs systèmes de culture, et qui sont prêts à « faire jouer la concurrence » pour l'achat de leur production, plutôt que de chercher à stabiliser à l'avance les prix de vente.

Les agriculteurs ont facilement accès à des ressources (matériel, références, expertise) sur ces cultures qu'ils considèrent comme bien connues. Les facteurs de variabilité des rendements, en particulier, sont bien connus des agriculteurs, ce qui leur permet d'anticiper les gammes de rendement de la culture de diversification avant son adoption.

3.1.3.3 *Production et circulation des connaissances :*

Les connaissances sur les cultures concernées par ces systèmes d'approvisionnement sont facilement disponibles, à la fois sous forme de références largement diffusées (surtout si elles sont issues d'organismes publics), plus ou moins spécifiques des conditions locales, et sous forme d'expertise et de conseil : les conseillers auxquels les agriculteurs font appel pour un appui technique sur les cultures principales sont très souvent à même de les accompagner aussi pour les cultures de diversification. Par ailleurs, les agriculteurs trouvent dans leur réseau

et leur voisinage d'autres producteurs avec qui échanger sur ces cultures, plus facilement que pour d'autres systèmes d'approvisionnement.

Les opérateurs de l'aval impliqués dans ces systèmes d'approvisionnement mettent souvent en place des essais visant à valider ou adapter localement les références plus génériques existant sur ces cultures, principalement sur les caractéristiques des variétés disponibles. Pour les cultures moins bien connues (soja ou sorgho collectés par 02-OCS-Ve, avoine collectée par 45-OCS-Sc), ou en l'absence de références sur certains aspects de la conduite des cultures (par exemple, pour la féverole en Scanie collectée par 45-OCS-Sc et 49-OCS-Sc, les variétés adaptées à l'implantation dans des sols riches en matière organique ou les leviers de gestion de la bruche), des dispositifs de production de connaissances spécifiques sont parfois mis en place, mais de tels cas sont très rares.

3.1.3.4 Développement et stabilisation des filières :

L'instabilité des prix et celle de la demande, associés aux marchés mondiaux, se répercutent sur les surfaces cultivées d'une année à l'autre, et incitent les agriculteurs à n'implanter ces cultures que sur des surfaces limitées, ou ponctuellement lorsque les prix sont plus élevés. La stabilisation des filières est encore plus difficile lorsque très peu d'agriculteurs produisent la culture localement, même lorsqu'une demande locale existe pour ses produits : les opérateurs n'étant pas certains de pouvoir assurer des volumes minimums, ils sont réticents à s'engager à acheter les récoltes. Ainsi, l'opérateur 02-OCS-Ve collecte parfois du sorgho, du soja ou du sarrasin auprès d'agriculteurs, mais la qualité de la production est jugée peu satisfaisante (propreté, taux d'humidité...) et les volumes collectés trop faibles pour réellement intéresser des acheteurs potentiels.

3.1.3.5 Conséquences pour les exploitations agricoles :

La place des cultures concernées par les « systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché » est instable dans les exploitations agricoles, à la fois en termes de surfaces et d'intérêt des agriculteurs pour ces cultures. Dans quelques cas (notamment pour des légumineuses à graines : féverole, lupin, pois protéagineux, soja, collectées en Vendée et en Scanie par différents opérateurs), ces systèmes concernent des cultures pour lesquelles les agriculteurs identifient un intérêt à plus long terme. Ces agriculteurs essayent alors d'introduire la culture dans leurs systèmes, souvent en expérimentant différentes modalités d'itinéraires techniques au fil des années, et démarchent des opérateurs de l'aval qu'ils identifient comme des acheteurs potentiels, se rapprochant d'un fonctionnement de système d'approvisionnement co-construit entre agriculteurs et aval. Cependant, ces agriculteurs n'arrivent pas à trouver des acheteurs prêts à s'engager à l'avance à acheter ces cultures : la commercialisation se fait finalement après la récolte, au prix du marché. C'est par exemple le cas de l'agriculteur F6, qui a longtemps produit de la féverole en la commercialisant de cette manière auprès de différents acheteurs, pour lesquels il assurait la livraison de sa production à des distances parfois importantes de son exploitation, avant de réussir à commercialiser cette culture dans un système co-construit avec l'opérateur 02-OCS-Ve.

3.1.4 Systèmes d'approvisionnement de circuits courts coordonnés par les agriculteurs

3.1.4.1 *Mode de coordination :*

Dans ce type de systèmes, que nous avons rencontré dans les 3 régions (voir chapitre 2 §3.2), les agriculteurs coordonnent l'approvisionnement dans le cadre d'une commercialisation directe aux consommateurs (à la ferme, dans des magasins en ligne ou magasins de producteurs, à travers des systèmes d'AMAP, etc.) ou avec un seul intermédiaire entre le producteur et les consommateurs (commerces, restaurants). Les objectifs de production des différentes cultures de diversification sont alors rarement considérés séparément les uns des autres : l'agriculteur choisit les cultures qu'il souhaite commercialiser en circuits courts et les objectifs de production qu'il se fixe pour ces cultures à la fois (i) en fonction de ses objectifs agronomiques : types de successions de culture recherchés (avec quelles familles de cultures, alternance de cultures d'hiver et de printemps, etc.), parcellaire ; et (ii) en fonction de la gamme de produits souhaitée pour la commercialisation : espèces et variétés, niveau de transformation des produits, adhésion à des systèmes de labellisation exigeant le respect de certains cahiers des charges. Les agriculteurs impliqués dans ces systèmes d'approvisionnement prennent en charge les activités de tri, de stockage, de transformation (notamment pour la vente directe), de conditionnement, habituellement organisées par les opérateurs de l'aval dans les autres systèmes d'approvisionnement. Pour cela, certains agriculteurs investissent dans leurs propres équipements de transformation (moulins, presses, ...) ; d'autres font appel à des prestataires, souvent d'autres agriculteurs eux-mêmes équipés pour la transformation. Les engagements auprès des acheteurs sont moins formalisés que dans les systèmes d'approvisionnement précédents.

3.1.4.2 *Gestion des incertitudes sur la production :*

Les incertitudes sur la production sont principalement gérées par les agriculteurs à travers des ajustements respectifs de leurs systèmes de culture et de leurs systèmes de transformation et commercialisation d'une année sur l'autre. Les agriculteurs font ainsi évoluer les proportions de chaque culture dans l'assolement en fonction de leurs rendements et des volumes commercialisés. Les agriculteurs attribuent généralement des surfaces plus importantes à quelques cultures dont ils maîtrisent bien la conduite et dont ils jugent que les résultats ne sont pas trop variables ; les cultures moins « sûres » sont cultivées sur des surfaces plus faibles. Certaines cultures ne sont cultivées que ponctuellement si les volumes produits ne sont pas commercialisés dans l'année. A l'inverse, il arrive que les agriculteurs fassent appel à d'autres producteurs pour compléter leur gamme de produits si une culture n'a pas atteint les volumes espérés, en particulier dans les Marches. Les agriculteurs sont décisionnaires dans ces systèmes des prix de vente des cultures, sur lesquelles ils récupèrent une plus grande part de valeur ajoutée.

3.1.4.3 *Production et circulation des connaissances :*

La production de connaissances sur les cultures concernées par ces systèmes d'approvisionnement repose sur les agriculteurs, et parfois sur des collectifs d'agriculteurs dont ils font partie. L'accès à des références et connaissances sur les cultures de diversification concernées est facilité lorsqu'il s'agit de cultures relativement répandues sur le territoire : par exemple le haricot en Vendée (produit par 14-EA-Ve, 15-EA-Ve), le pois chiche, la lentille ou

l'épeautre dans les Marches (41-EA-Ma, 36-EA-Ma, 38-EA-Ma, 35-EA-Ma, 37-EA-Ma, 42-EA-Ma). Enfin, certaines des cultures commercialisées à travers ces systèmes d'approvisionnement sont des cultures traditionnelles ou historiques sur le territoire (millet en Vendée produit par 16-EA-Ve ; gesse dans les Marches produite par 35-EA-Ma, 36-EA-Ma, 41-EA-Ma). Les agriculteurs cherchent alors à retrouver et à actualiser les savoirs traditionnels sur ces cultures (conduite de la culture, utilisations dans l'alimentation), mais également à retrouver et à cultiver des semences adaptées aux conditions locales. A l'inverse, certaines cultures produites dans le cadre de ces systèmes d'approvisionnement sont traditionnellement cultivées dans d'autres régions agricoles, comme le quinoa produit par 35-EA-Ma. La production de connaissances sur ces cultures passe alors par la recherche de références issues de ces autres régions de production (via internet, via des réseaux professionnels) et par des essais sur la ferme pour déterminer comment adapter la conduite de la culture aux conditions locales.

Les collectifs dans lesquels les agriculteurs sont impliqués jouent souvent un rôle dans l'échange sur les pratiques liées à la diversification : en particulier, les agriculteurs impliqués dans ces systèmes d'approvisionnement font généralement partie de réseaux formels ou informels auxquels participent d'autres agriculteurs travaillant en circuits courts : cela leur permet de gérer collectivement des semences et d'échanger sur la conduite des cultures, mais également sur leurs pratiques de transformation, de commercialisation et sur les problématiques organisationnelles associées à ces activités.

3.1.4.4 Développement et stabilisation des filières :

Le développement de ces systèmes d'approvisionnement implique le développement de nouvelles activités de commercialisation, qui s'accompagnent d'une réorganisation du travail sur la ferme. Le développement progressif de connaissances sur les cultures et de circuits de transformation et de commercialisation se traduit par des ajustements des modalités de production, de transformation et de commercialisation d'une année sur l'autre, qui occasionnent parfois de fortes variations des volumes produits au cours du temps.

Du point de vue des agriculteurs concernés, l'enjeu majeur pour la stabilisation de ces systèmes d'approvisionnement est la stabilisation des circuits de commercialisation. Pour cela, les agriculteurs cherchent à mettre en place des dispositifs d'engagement de leurs acheteurs, à l'échelle d'une ou plusieurs années : soit en mettant en place des partenariats avec des transformateurs achetant les excédents de production, soit en développant des dispositifs d'engagement des consommateurs pour la vente directe comme les systèmes d'AMAP, de livraisons de paniers. La stabilisation de ces systèmes d'approvisionnement et des nouvelles activités qu'ils impliquent pour l'exploitation passe souvent par une augmentation de la main d'œuvre, avec l'installation d'un ou une associée, ou l'embauche de salariés.

3.1.4.5 Conséquences pour les exploitations agricoles :

Le développement de ces systèmes d'approvisionnement par les agriculteurs se traduit par la possibilité de cultiver et de commercialiser un grand nombre d'espèces, et donc par une augmentation importante du nombre de cultures. Ces systèmes sont ainsi particulièrement représentés dans les trajectoires de diversification de type 3 (Figure 10). En revanche, les faibles volumes de commercialisation, et l'incertitude sur ces volumes (avec parfois des productions stockées plus d'un an par les agriculteurs) impliquent que les surfaces de ces cultures restent faibles. Quelques exceptions existent lorsque les agriculteurs réussissent à stabiliser les circuits

de commercialisation de leurs produits, pour s'assurer de volumes de ventes plus conséquents. Cinq des sept agriculteurs qui mobilisent ce type de systèmes d'approvisionnement les combinent avec d'autres modes de commercialisation des cultures de diversification qui leur permettent d'augmenter les surfaces de celles-ci.

3.1.5 Systèmes d'approvisionnement coordonnés entre agriculteurs :

3.1.5.1 *Mode de coordination :*

Dans ce type de systèmes, des agriculteurs approvisionnent directement d'autres agriculteurs avec des produits issus de la diversification. Cette situation n'a été rencontrée que dans quatre cas, mais est présente dans les trois territoires d'étude, et correspond bien à une modalité de coordination du système d'approvisionnement différente des autres, où des agriculteurs négocient entre eux les modalités de conduite d'une culture de diversification et les résultats qui en sont attendus. Dans trois des quatre systèmes d'approvisionnement de ce type, les cultures sont destinées à l'alimentation des animaux de l'agriculteur acheteur : il s'agit soit de luzerne vendue « sur pied » à des éleveurs qui prennent donc en charge le chantier de récolte (39-EA-Ma, 40-EA-Ma), soit de féverole vendue après la récolte à un éleveur voisin, ou via une plateforme en ligne d'échanges entre agriculteurs (64-EA-Sc). Le quatrième cas correspond à la vente de sarrasin comme semence de couverts (13-EA-Ve).

Ces approvisionnements entre agriculteurs sont généralement informels, même s'ils sont décidés avant le semis. Les réglementations sur la vente de productions végétales entre exploitations agricoles constituent dans beaucoup de cas un obstacle à ce type de systèmes, lorsqu'elles n'autorisent pas la vente de cultures entre agriculteurs sans agrément spécifique, ou seulement pour des volumes très limités.

3.1.5.2 *Gestion des incertitudes sur la production :*

Ces systèmes d'approvisionnement ne constituent pas la source principale d'approvisionnement de l'agriculteur acheteur, mais viennent en complément d'une production sur sa propre exploitation agricole ou d'achats à des fournisseurs plus classiques. Cela rend plus acceptables les aléas de production interannuels.

3.1.5.3 *Production et circulation des connaissances :*

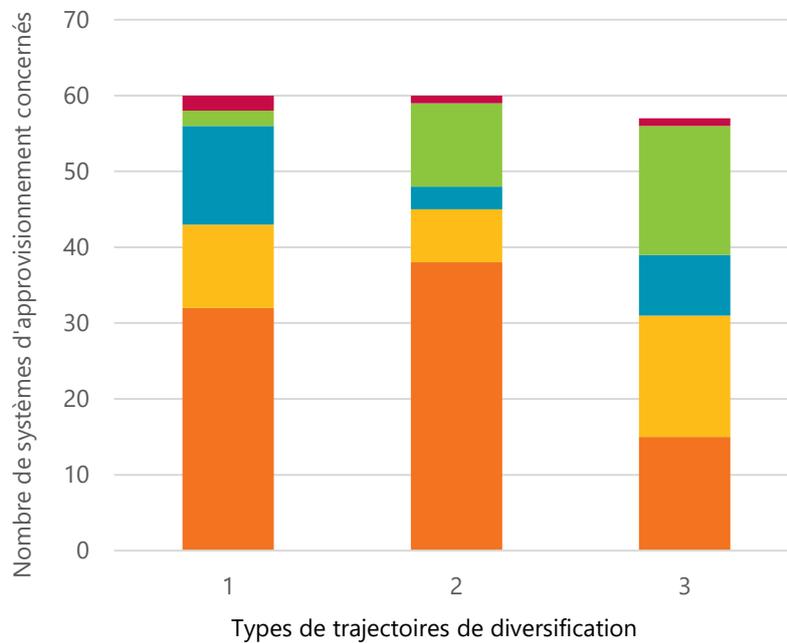
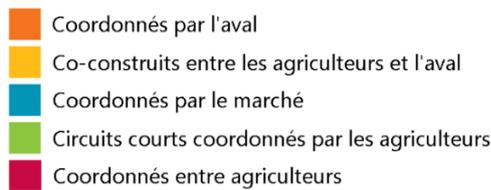
Comme dans le cas des systèmes d'approvisionnement coordonnés par les agriculteurs, les besoins de connaissances sur les cultures cultivées dans ces systèmes d'approvisionnement dépendent beaucoup de la culture et de sa présence ou non sur l'exploitation, ou sur le territoire, avant la mise en place du nouveau système d'approvisionnement. Lorsqu'elle est nécessaire, la production de connaissances repose principalement sur les agriculteurs ou sur des collectifs d'agriculteurs auxquels ils appartiennent.

3.1.5.4 *Développement et stabilisation des filières :*

La stabilisation de ces systèmes d'approvisionnement dans le temps dépend principalement de la pérennisation du partenariat entre l'agriculteur producteur et l'agriculteur acheteur. Les surfaces concernées restent faibles.

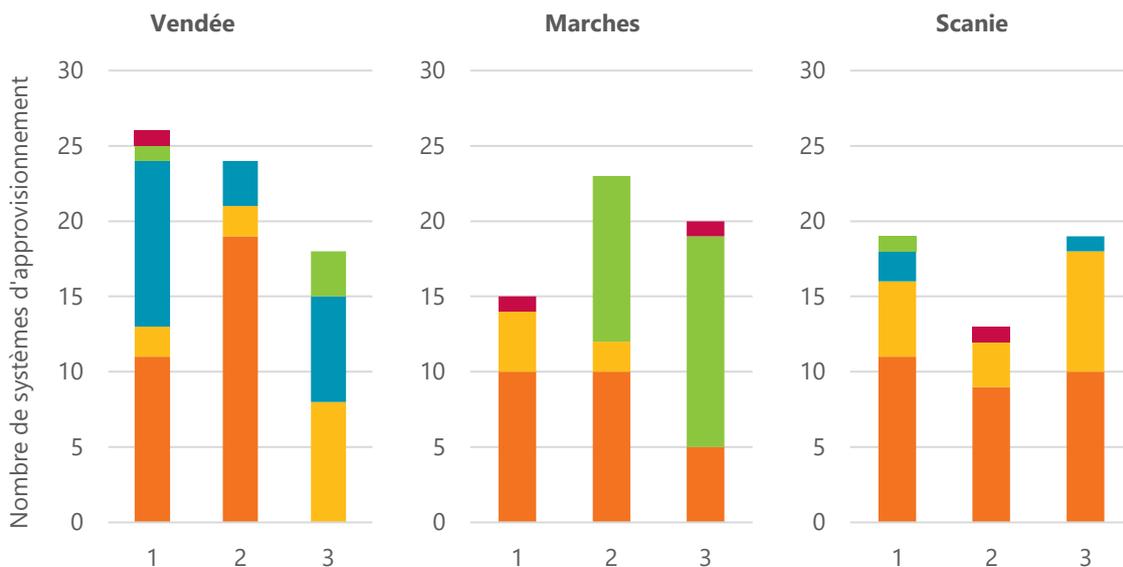
3.1.5.5 *Conséquences pour les exploitations agricoles :*

Ces systèmes d’approvisionnement permettent à des exploitations agricoles qui ne possèdent pas d’élevage d’introduire des prairies temporaires dans leurs systèmes de culture lorsque l’approvisionnement concerne des cultures fourragères. Dans tous les cas, elle est mise en place par les agriculteurs avec l’objectif d’élargir la gamme de cultures produites sur la ferme, en commercialisant une culture pour laquelle ils n’ont pas d’autres débouchés.

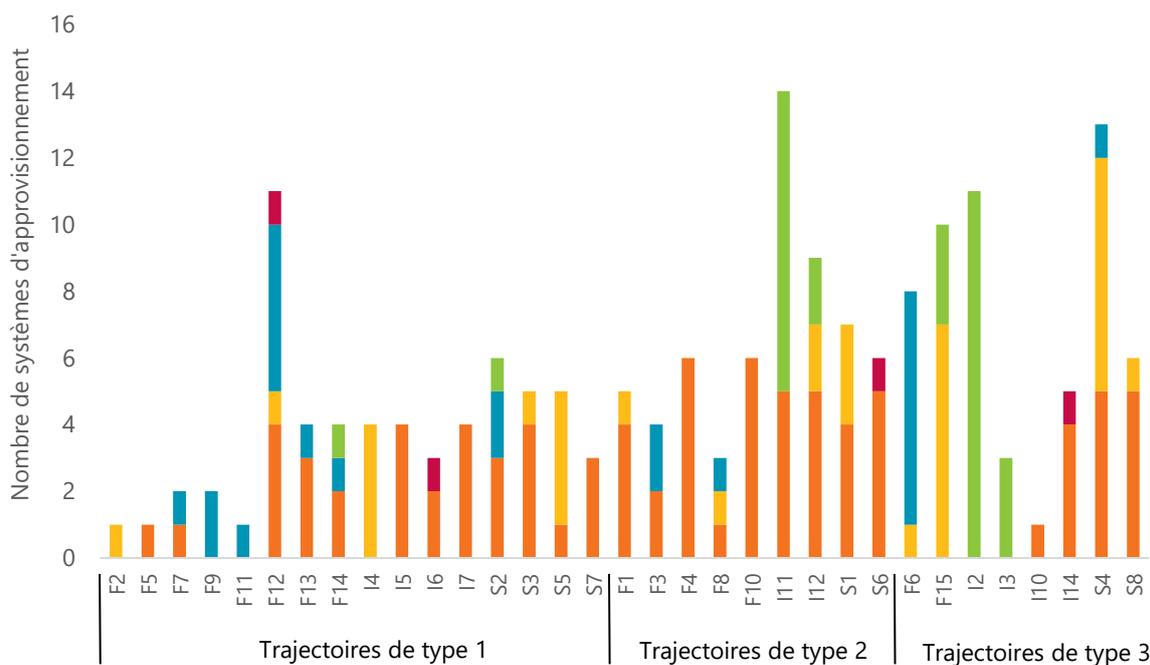


- 1** : Diversification faible ou lente
- 2** : Augmentation de la surface de cultures de diversification de vente
- 3** : Forte augmentation du nombre de cultures

(a) Mobilisation des systèmes d’approvisionnement dans chaque type de trajectoire de diversification, tous territoires confondus



(b) Mobilisation des systèmes d’approvisionnement dans chaque type de trajectoire de diversification (en abscisse), pour chaque territoire d’étude



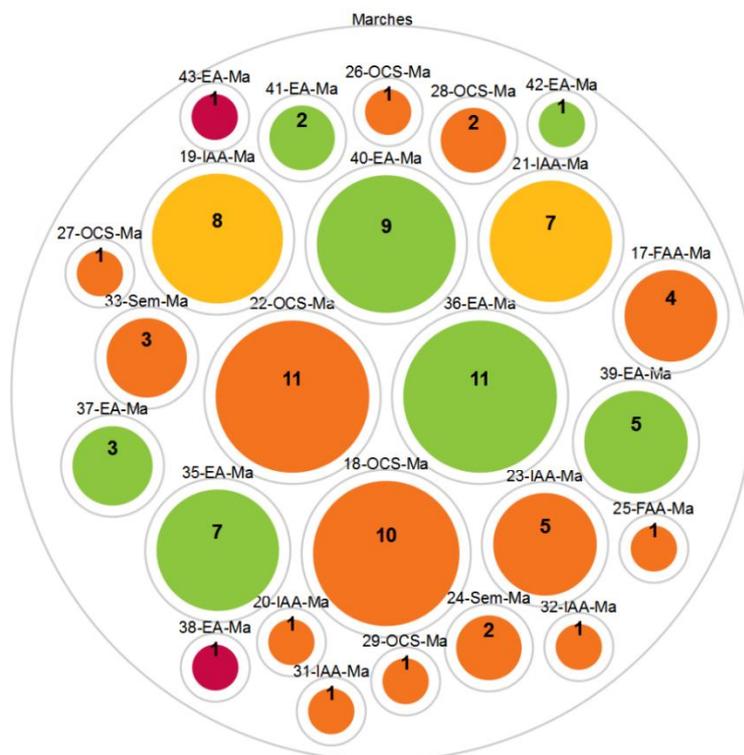
(c) Mobilisation des systèmes d’approvisionnement dans les exploitations agricoles correspondant à chaque type de trajectoire de diversification

Figure 10 : Mobilisation des différents types de systèmes d’approvisionnement des cultures de diversification par les exploitations agricoles qui diversifient leurs cultures, selon qu’elles sont engagées dans des trajectoires de diversification faible ou lente (type 1 du chapitre 1), d’augmentation de la surface de cultures de diversification de vente (type 2 du chapitre 1) ou de forte augmentation du nombre de cultures (type 3 du chapitre 1). Les systèmes d’approvisionnement mobilisés pour chaque type de trajectoire sont représentés (a) tous territoires confondus ; (b) pour chaque territoire ; (c) pour chaque exploitation agricole.

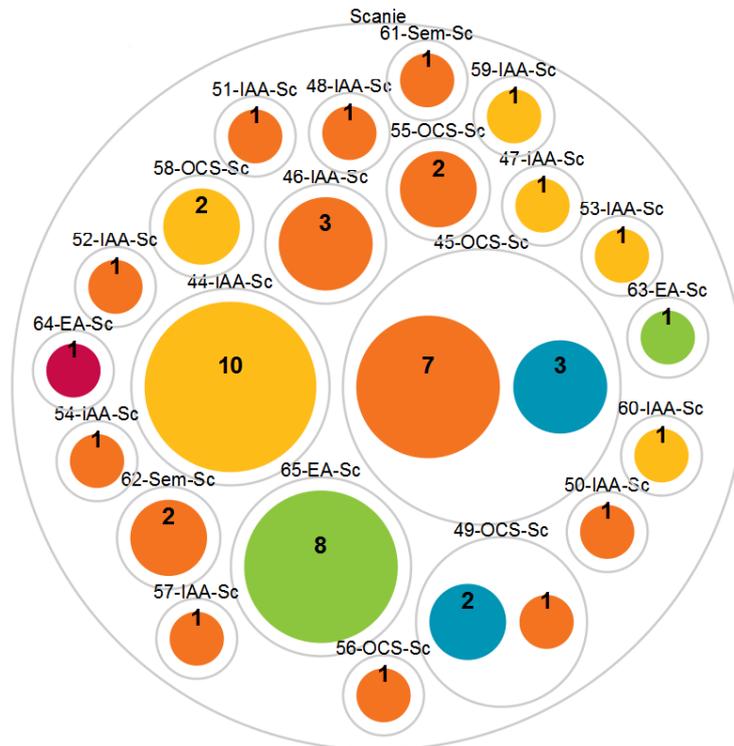
3.2 Combinaison des différents types d’approvisionnements dans les territoires

Les différents types de systèmes d’approvisionnement présentés ci-dessus sont présents dans chaque territoire, à l’exception des systèmes d’approvisionnement coordonnés par le marché, absents dans les Marches (Tableau 8 ; Figure 11). Ces types de systèmes d’approvisionnement ne sont cependant pas représentés dans les mêmes proportions dans les trois territoires. Si les systèmes coordonnés par l’aval sont fortement représentés dans les trois territoires, on remarque (Tableau 8 ; Figure 11) une présence marquée des systèmes d’approvisionnement en circuits courts coordonnés par les agriculteurs dans les Marches (38% des systèmes d’approvisionnement), des systèmes co-construits entre agriculteurs et aval en Scanie (30% des systèmes d’approvisionnement), et des systèmes coordonnés par le marché en Vendée (29% des systèmes d’approvisionnement). En Vendée, 44% des systèmes d’approvisionnement de cultures de diversification sont concentrés par un opérateur (01-OCS-Ve).

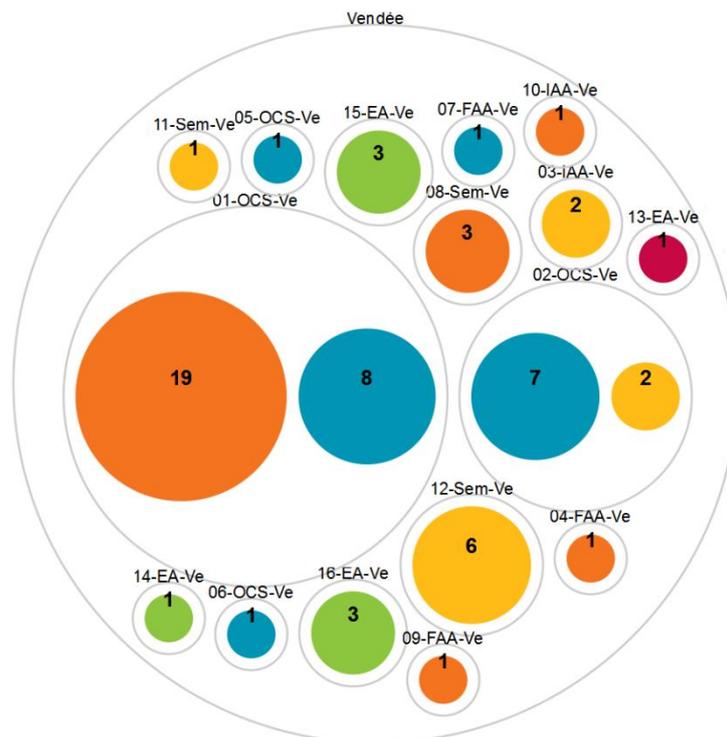
- Coordonnés par l’aval
- Co-construits entre les agriculteurs et l’aval
- Coordonnés par le marché
- Circuits courts coordonnés par les agriculteurs
- Coordonnés entre agriculteurs



(a) Marches



(b) Scanie



(c) Vendée

Figure 11 : Types de systèmes d’approvisionnement rencontrés (a) dans les Marches, (b) en Scanie, (c) en Vendée, et premiers opérateurs de l’aval associés. Les effectifs correspondent au nombre de systèmes d’approvisionnement concernés. Les codes correspondent aux opérateurs de l’aval impliqués dans les systèmes d’approvisionnement. Pour chaque opérateur, on précise (i) s’il s’agit d’un opérateur de collecte et stockage (OCS), d’une industrie agroalimentaire (IAA), de fabrication d’alimentation animale (FAA) ou semencière (Sem), ou d’une exploitation agricole (EA) ; (ii) le territoire concerné : Vendée (Ve), Marches (Ma) ou Scanie (Sc).

3.2.1 Dans les Marches, une forte diversification d'exploitations agricoles tournées vers les filières de qualité et les circuits courts

3.2.1.1 *Opérateurs et systèmes de culture majeurs sur le territoire :*

La région compte beaucoup d'exploitations agricoles de petite taille, avec des exploitants agricoles qui ont une double activité ou qui externalisent les travaux agricoles auprès de prestataires externes. Ces facteurs contribuent à la recherche de simplification des systèmes de culture par les agriculteurs. Les *consorzi*, coopératives qui collectent la majorité des surfaces de production agricole conventionnelle du territoire, concentrent leur activité sur les cultures principales que sont le blé dur et le tournesol (Tableau 10.a). Ces opérateurs n'ont ainsi pas été identifiés dans les systèmes d'approvisionnement de cultures de diversification des Marches. En particulier, nous n'avons pas identifié de systèmes d'approvisionnement coordonné par le marché, autres que ceux du blé dur et du tournesol. L'absence d'implication de ces opérateurs principaux dans le développement de filières de diversification contribue à expliquer la dominance dans la région de systèmes de culture très simplifiés blé dur-tournesol.

La filière de la betterave sucrière a représenté historiquement une place importante dans les surfaces et les systèmes de culture de la région (Tableau 10.a). La répartition des quotas à l'échelle européenne dans les années 2005-2006 a cependant conduit à la fermeture des sucreries de la région et la disparition de la betterave des Marches, entraînant une simplification de ces systèmes de culture, avec le renforcement du tournesol et, surtout, du blé dur.

3.2.1.2 *Autres opérateurs et filières de diversification :*

La diversification des cultures dans les Marches repose principalement sur des systèmes d'approvisionnement en circuits courts et sur des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval, ces derniers étant portés à la fois par des industriels et par des coopératives spécialisées dans l'agriculture biologique (Tableau 10.b).

Plusieurs industries présentes dans la région ont développé au cours du temps des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval : pour la fabrication d'aliments pour volailles (17-FAA-Ma), de biscuits et pâtes (20-IAA-Ma), la surgélation (23-IAA-Ma) ou l'appertisation (32-IAA-Ma) de légumes, ou enfin pour la production de semences (24-Sem-Ma, 33-Sem-Ma). Dans le nord de la région, plusieurs usines de déshydratation (dont 25-FAA-Ma) collectent des surfaces importantes de luzerne destinée aux élevages du Nord de l'Italie ou à l'exportation. A l'exception des opérateurs collectant pois protéagineux, féverole, blé tendre (17-FAA-Ma) et épeautre (20-IAA-Ma), dans des systèmes coordonnés par l'aval, ces opérateurs ciblent certaines zones sur le territoire, à la fois suffisamment proches des usines et adaptées pour la production de la culture.

En dehors de ces systèmes d'approvisionnement coordonnés par des industriels, et qui comportent à la fois des productions conventionnelles et biologiques, la diversification des cultures observée sur le territoire est très liée au développement de l'agriculture biologique dans des circuits courts et via des coopératives spécialisées. Les surfaces en agriculture biologique dans la région sont passées de 5,5% en 2010 (recensement agricole) à 23,8% en 2020 (statistique du Ministère de l'Agriculture). Ces surfaces présentent une plus grande diversité de cultures, avec une plus grande diversité de systèmes d'approvisionnement associés, que les surfaces en agriculture conventionnelle. En particulier, plusieurs coopératives

spécialisées dans l'agriculture biologique (dont 29-OCS-Ma, 22-OCS-Ma, 18-OCS-Ma, 28-OCS-Ma) collectent une quinzaine de cultures de diversification sur le territoire. Ces coopératives font le relais avec les industriels présentés ci-dessus (notamment 17-FAA-Ma, 20-IAA-Ma), mais cherchent aussi à structurer des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval pour d'autres cultures afin de répondre aux attentes des agriculteurs bio qui recherchent des débouchés, en particulier, pour des légumineuses à graines ou fourragères. Le développement de ces systèmes d'approvisionnement se trouve cependant freiné par des variations importantes de la demande des acheteurs à l'aval des coopératives. Ces incertitudes rendent plus difficile, pour les coopératives, la réalisation d'investissements sur le moyen à long terme, et réduisent leur capacité à accompagner techniquement les agriculteurs.

Plus globalement, les systèmes d'approvisionnement de cultures de diversification des Marches, qu'ils soient coordonnés par l'aval ou en circuits courts, se fondent en majorité sur une recherche de différenciation des produits (Tableau 10.b). Cette différenciation repose sur différents dispositifs de traçabilité et de reconnaissance de la qualité de ces produits, tels que les labels Agriculture Biologique ou IGP (lentille de Castelluccio di Norcia), Presidio Slow Food (fève de Fratte Rosa, haricot de Laverino, gesse de Serra de' Conti), ou l'allégation « sans gluten », commercialisés dans des systèmes d'approvisionnement en circuits courts coordonnés par les agriculteurs (35-EA-Ma, 36-EA-Ma, 41-EA-Ma). Ces labels ne s'accompagnent cependant pas d'une organisation collective des producteurs pour la commercialisation du produit, les agriculteurs travaillant indépendamment les uns des autres. Pour les agriculteurs en conventionnel qui n'ont pas établi de contrat avec des industriels, les systèmes d'approvisionnement en circuits courts constituent le principal moyen de vendre des cultures de diversification.

3.2.1.3 Rôle des structures de conseil et des pouvoirs publics :

Les opérateurs impliqués dans des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval, en particulier les industries agroalimentaires, mettent fréquemment en place, lors du développement de nouvelles filières, des partenariats avec des structures de R&D publiques (instituts de recherche, universités) ou privées (semenciers) pour compléter leurs propres dispositifs de production de connaissances : ces partenariats concernent principalement la création de nouvelles variétés ou le test de variétés existantes (valeur agronomique, qualité technologique et alimentaire). L'accompagnement technique des agriculteurs est pris en charge par les opérateurs de l'aval (Tableau 10.c).

Dans les systèmes d'approvisionnement coordonnés par les agriculteurs ou par le marché, l'accompagnement technique des agriculteurs par des structures de conseil est faible (Tableau 10.c). En effet, les services de conseil proposés sur le territoire par les structures syndicales ou par des agronomes indépendants concernent plutôt l'accompagnement administratif, et parfois la recherche de contrats pour la commercialisation. L'organisation d'agriculteurs en associations, en groupes de développement est rare. Ce sont donc principalement les agriculteurs qui produisent des connaissances sur la conduite des cultures de diversification.

Les mesures du second pilier de la PAC proposées par la région des Marches (<https://www.regione.marche.it/Entra-in-Regione/Psr-Marche>) sont fréquemment mentionnées par les acteurs des systèmes d'approvisionnement pour l'appui qu'elles apportent au développement de filières de diversification, à travers un soutien à la coopération entre acteurs des filières (mesure 16), aux investissements dans les infrastructures (mesure 4), aux modes de production biologique (mesure 11) et sous label de qualité (mesure 3). Des aides

couplées soutiennent en revanche la production de blé dur dans la région, qui est considérée comme l'une des zones prioritaires de production de cette culture en Italie, ce qui contribue à rendre la culture majoritaire dans le territoire étudié.

3.2.2 En Scanie, des systèmes de culture diversifiés permis par la forte densité d'industries agroalimentaires

3.2.2.1 *Opérateurs et systèmes de culture majeurs sur le territoire :*

La Scanie comporte un grand nombre d'industries agroalimentaires de taille variable, souvent spécialisées autour d'une culture, qui concernent à la fois les cultures principales et les cultures de diversification. Des filières industrielles coordonnées par l'aval offrent ainsi des débouchés à des prix supérieurs au marché pour des surfaces importantes de blé (alcool) et de colza (huile), mais également de betterave sucrière (52-IAA-Sc) et de pomme de terre féculière (50-IAA-Sc), qui représentent respectivement plus de 27 000 et plus de 5 000 hectares sur le territoire. D'autres opérateurs industriels contribuent au développement de cultures de légumes (46-IAA-Sc) ou de semences (61-IAA-Sc, 62-IAA-Sc). En lien avec ces systèmes d'approvisionnement, qui présentent chacun leurs propres exigences en termes de production et de qualité, les systèmes de culture dominants dans la région sont basés sur des rotations de 3 à 4 ans de type colza-blé-orge, avec souvent une culture industrielle intercalée entre deux céréales, et parfois un retour du blé tendre plusieurs années de suite (colza-blé-blé, colza-blé-blé-blé).

La présence de certaines cultures de diversification sur le territoire est donc dépendante de ces filières (Tableau 10.a). La fermeture d'une usine de surgélation du pois en 2017 (51-IAA-Sc) a ainsi entraîné la quasi disparition de cette culture du territoire avant qu'une entreprise (57-IAA-Sc) ne reconstruise un autre système d'approvisionnement autour de cette culture (voir Encadré 3, §3.1.1). Les aléas climatiques ou de marché, ou des problèmes agronomiques liés à la réduction des délais de retour dans certaines zones de production (par exemple pour l'oignon collecté par 53-IAA-Sc, confronté à des problèmes de taupin), entraînent parfois le recul ou la disparition de ces systèmes d'approvisionnement et des industries qui les coordonnent, et donc des cultures de diversification qui leur sont associées.

3.2.2.2 *Autres opérateurs et filières de diversification :*

D'autres cultures comme l'orge, la féverole, le seigle ou le pois protéagineux sont collectées par la plupart des négoce et coopératives du territoire (45-OCS-Sc, 49-OCS-Sc, ...) à travers des systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché, principalement à destination de l'alimentation animale (Tableau 10.b). Ces cultures présentent alors des valeurs ajoutées moindres, d'autant qu'en l'absence d'investissements de R&D, leur rendement reste instable. Ces cultures sont souvent implantées « par défaut » par les agriculteurs pour compléter leur assolement, ou cultivées dans des zones à plus faible potentiel de production où les industries ne souhaitent implanter d'autres cultures.

D'autres systèmes d'approvisionnement, à destination de l'alimentation humaine cette fois-ci, ont été développés au cours des dix dernières années sur le territoire. Il s'agit souvent de systèmes d'approvisionnement co-construits entre les agriculteurs et des industriels, traitant de faibles volumes (pomme de terre avec 47-IAA-Sc ; légumes secs, quinoa, cameline... avec 44-IAA-Sc). Ces systèmes d'approvisionnement explorent de nouvelles zones de production (de l'oignon pour 53-IAA-Sc) ou de nouvelles cultures (chanvre pour 60-IAA-Sc, tournesol ou

chia pour 44-IAA-Sc, ...) en partenariat avec quelques agriculteurs. Certains agriculteurs (63-EA-Sc, 65-EA-Sc) coordonnent eux-mêmes des systèmes d'approvisionnement en circuits courts (à la ferme, via des paniers), qui représentent de petites surfaces mais une large gamme de cultures (légumes, céréales, épices comme la moutarde, le carvi, ou légumes secs).

3.2.2.3 Rôle des structures de conseil et des pouvoirs publics :

En-dehors du conseil porté par les opérateurs de l'aval, le territoire compte des structures de conseil privées, qui se sont organisées pour accompagner les agriculteurs dans la gestion d'une diversité de cultures avec un raisonnement systémique plutôt que culture par culture (Tableau 10.c). Ces structures proposent un accompagnement individuel aux agriculteurs qui s'appuie sur le développement de compétences des conseillers sur les cultures de diversification, et sur l'appui à la conception des assolements (en lien avec les types de sols, les problèmes d'adventices, les délais de retour des cultures, les conditions d'implantation) avec des outils de planification. Cet accompagnement « systémique » à la diversification inclut aussi une veille sur les filières existantes ou en cours de développement autour de nouvelles cultures.

Le développement de systèmes d'approvisionnement pour les cultures de diversification est principalement porté par des structures privées : entreprises de l'aval, parfois en partenariat avec des organisations professionnelles agricoles ou des associations de consommateurs (c'est le cas par exemple de l'entreprise 44-IAA-Sc, dont la création fait suite à une réflexion sur l'alimentation dans le cadre d'une association). Les pouvoirs publics interviennent dans le développement de systèmes d'approvisionnement pour les cultures de diversification par le biais d'appels à projets, orientés en particulier vers des objectifs de reterritorialisation de la production alimentaire suédoise (ce qui permet par exemple le développement de dynamiques autour des légumes secs).

3.2.3 En Vendée, une diversification portée par un opérateur majeur, et le développement de modèles alternatifs

3.2.3.1 Opérateurs et systèmes de culture majeurs sur le territoire :

Le système agricole vendéen repose sur un opérateur dominant (01-OCS-Ve) qui collecte la majorité des surfaces de cultures de vente du territoire, à la fois pour les cultures principales et pour les cultures de diversification (Tableau 10.a). Les systèmes d'approvisionnement développés par cet opérateur sont à la fois des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval (19 identifiés) et coordonnés par le marché (8 identifiés). Au cours du temps, cet opérateur a progressivement remobilisé des infrastructures et des compétences développées autour de la diversification pour élargir sa gamme de cultures collectées (voir Encadré 2, §3.1.1). L'opérateur a ainsi développé une expertise dans la gestion de nombreuses filières distinctes, historiquement en cherchant à développer des filières de qualité alternatives aux systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché pour les cultures majeures (maïs, blé tendre), puis en développant différents segments d'activité autour des semences, des cultures industrielles, des légumes secs, et enfin de l'agriculture biologique.

3.2.3.2 Autres opérateurs et autres filières de diversification :

Les autres opérateurs de l'aval présents sur le territoire, et les agriculteurs qui commercialisent leurs cultures dans d'autres systèmes d'approvisionnement que ceux de l'opérateur 01-OCS-

Ve, cherchent le plus souvent à développer des systèmes d'approvisionnement sur des modèles différents (Tableau 10.b). Ainsi, sur 35 systèmes non coordonnés par l'opérateur 01, seuls 6 relèvent du modèle coordonné par l'aval, dont 3 en production de semences.

Les systèmes d'approvisionnement co-construits entre agriculteurs et aval, coordonnés par le marché, ou coordonnés par les agriculteurs, concernent souvent (19 cas sur 36) les mêmes espèces de diversification que celles collectées par l'opérateur dominant : colza, tournesol, lin, orge, lupin, soja, luzerne, trèfle, pois chiche, lentille, triticales, féverole, haricot. Le modèle de système d'approvisionnement coordonné par l'aval proposé par l'opérateur dominant est souvent considéré par les acteurs impliqués dans d'autres systèmes comme « intégré », dans le sens où les pratiques des agriculteurs sont très encadrées. Certains agriculteurs cherchent alors à commercialiser leurs cultures de diversification dans des systèmes d'approvisionnement où ils ont davantage de marge de manœuvre dans le choix de leurs pratiques, soit parce qu'ils peuvent négocier ces pratiques avec les opérateurs de l'aval (systèmes d'approvisionnement co-construits avec les opérateurs 02-OCS-Ve, 03-IAA-Ve, 12-Sem-Ve), soit parce que l'encadrement des pratiques est très faible (systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché pour la production de colza et de tournesol, ou pour l'alimentation animale), soit parce que ce sont les agriculteurs qui coordonnent les systèmes d'approvisionnement (circuits courts des exploitations 14-EA-Ve, 15-EA-Ve, 16-EA-Ve).

3.2.3.3 Rôle des structures de conseil et des pouvoirs publics :

Pour les systèmes d'approvisionnement qui ne sont pas coordonnés par l'aval, la production et la circulation de connaissances autour de la diversification passe beaucoup par des collectifs d'agriculteurs, qui sont nombreux sur le territoire (Tableau 10.c). Ces collectifs peuvent être organisés autour des systèmes d'approvisionnement de cultures de diversification (comme c'est le cas de l'association d'agriculteurs travaillant avec l'entreprise 03-IAA-Ve), ou autour de thématiques qui les amènent à aborder les problématiques de diversification : agriculture biologique, agriculture de conservation, mise en commun de matériel pour le stockage ou la transformation, etc. Les structures qui animent ces collectifs (Geda, Apad, Cuma...), ou d'autres structures de conseil (chambre d'agriculture, Civam...), contribuent à animer des échanges entre agriculteurs et opérateurs de l'aval dans le cadre de systèmes d'approvisionnement co-construits (02-OCS-Ve, 03-IAA-Ve). Elles proposent également un accompagnement technique aux agriculteurs, qui concerne cependant surtout les cultures commercialisées dans des systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché, ou d'autres cultures présentes depuis longtemps sur le territoire, comme le haricot. Ces structures de conseil interviennent très peu dans les systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval et les cultures qui y sont spécifiquement associées ; une grande partie de leurs activités de conseil et d'animation concerne les dynamiques de diversification des cultures visant l'autonomie alimentaire des élevages.

Les politiques publiques interviennent peu dans les dynamiques de diversification du territoire, du fait de soutiens à la diversification (de la PAC notamment) qui restent ponctuels et rarement pérennes.

Tableau 10 : Principales caractéristiques des dynamiques de diversification dans les trois territoires

	Marches	Scanie	Vendée
a. Opérateurs et systèmes de culture majeurs/dominants	<ul style="list-style-type: none"> - Les opérateurs majeurs se concentrent sur la collecte et transformation du blé dur et du tournesol - Spécialisation forte autour du blé dur et de la production de pâtes - Filière sucrière historique interrompue dans les années 2000 	<ul style="list-style-type: none"> - Forte présence d'industries agroalimentaires moteurs de la diversification pour des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval à haute valeur ajoutée, transformant de larges volumes - Fermeture puis relance d'une filière historique de surgélation de pois 	<ul style="list-style-type: none"> - L'opérateur de collecte dominant centralise des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval et par le marché, pour une large gamme de cultures de diversification
b. Autres opérateurs et filières de diversification	<ul style="list-style-type: none"> - La diversification repose sur des circuits courts et des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval (industriels, coopératives biologiques) et sur des stratégies de différenciation des produits (labellisation, traçabilité) - Les opérateurs rencontrent des difficultés pour structurer et stabiliser des filières de diversification correspondant à des volumes de production intermédiaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Des systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché pour des productions à destination de l'alimentation animale, avec des valeurs ajoutées relativement faibles - Des agriculteurs développant des systèmes d'approvisionnement co-construits avec des industries plus petites, ou en circuits courts, pour des gammes de produits peu transformés. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les autres opérateurs développent des circuits de diversification alternatifs à ceux de l'opérateur dominant, avec des systèmes d'approvisionnement co-construits avec les agriculteurs, coordonnés par les marchés ou coordonnés par les agriculteurs, souvent pour les mêmes cultures que l'opérateur dominant
c. Rôle des structures de conseil et des pouvoirs publics	<ul style="list-style-type: none"> - Contributions d'acteurs de la R&D au développement de systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval - Peu d'intervention du conseil dans les systèmes d'approvisionnement en circuits courts - Mobilisation de mesures du second pilier de la PAC pour soutenir le développement des filières de diversification 	<ul style="list-style-type: none"> - Des structures de conseil privées accompagnent les agriculteurs à la diversification - Intervention des pouvoirs publics dans le soutien à la relocalisation de la production alimentaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Contribution de nombreux collectifs d'agriculteurs et des structures de conseil et de développement qui leur sont associées à la production de connaissances et au développement de filières en dehors des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval - Faible rôle des pouvoirs publics

4 DISCUSSION

4.1 Une typologie des systèmes d'approvisionnement

4.1.1 Différents types de systèmes d'approvisionnement

Nous avons identifié cinq modalités de coordination des systèmes d'approvisionnement de cultures de diversification : coordination par l'aval, coordination co-construite entre les agriculteurs et l'aval, coordination par le marché, coordination par les agriculteurs, et coordination entre agriculteurs. Ces résultats recoupent, en partie, différents travaux récents de caractérisation des modalités de coordination des filières agroalimentaires :

(1) Des systèmes d'approvisionnement coordonnés par les marchés sont décrits par Meynard et al. (2018) comme des filières où les acteurs échangent peu sur la qualité et les pratiques de production, et par Gaitan-Cremaschi et al. (2020) comme des voies de commercialisation « traditionnelles » avec une faible coordination et des prix spots. Morel et al. (2020 ; voir annexe 1) décrivent l'idéal-type « changer de l'intérieur » (*changing from within*) comme un système d'innovation visant des marchés de commodités, en agriculture conventionnelle, dans lesquels les agriculteurs doivent se conformer aux attentes de ces marchés.

(2) Des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval sont décrits par Meynard et al. (2018) comme des filières avec une forte coordination verticale, où les coopératives jouent un rôle important, ou comme des filières avec un niveau de coordination « intermédiaire » où il existe une coordination entre l'amont et les opérateurs de collecte, mais pas de coordination à l'aval. Ce dernier cas est celui de certains systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval que nous avons décrits (notamment dans les Marches), où les premiers opérateurs de l'aval rencontrent des difficultés dans la coordination avec les acteurs de la distribution. Gaitan-Cremaschi et al. (2020) décrivent des filières coordonnées par les supermarchés ou l'agro-industrie, qui encadrent les méthodes de production et la qualité des produits avec des contrats établis à l'avance qui fixent les volumes, les prix, les dates de livraisons, les conditions de réfaction. Dans ces filières, « *un soutien technique et financier peut être apporté* »¹⁷ aux agriculteurs.

(3) Des systèmes d'approvisionnement en circuits courts coordonnés par les agriculteurs sont décrits par différents auteurs (Bowen and Mutersbaugh, 2014; Brunori et al., 2019, 2016; Gaitan-Cremaschi et al., 2020; Lamine et al., 2019), représentés par des filières de vente directe via des magasins, marchés, ou associations de producteurs ou de consommateurs. Morel et al. (2020) décrivent ces systèmes d'approvisionnement (*playing outside*) centrés sur des circuits courts en agriculture biologique, et les difficultés organisationnelles rencontrées par les acteurs de ces systèmes.

(4) Les systèmes d'approvisionnement coordonnés entre agriculteurs ne sont pas mentionnés dans les travaux portant sur les filières agroalimentaires cités ci-dessus, à l'exception de Morel et al. (2020), qui décrivent différentes stratégies d'échanges entre agriculteurs, et la manière dont cela permet à ceux-ci de s'affranchir des règles des marchés pour diversifier. Ces modèles d'échanges entre agriculteurs sont davantage traités, par ailleurs, par les travaux portant sur l'intégration entre cultures et élevage au-delà de l'échelle de la ferme (Asai et al., 2018; Catarino et al., 2021; Kronberg and Ryschawy, 2019; Ryschawy et al., 2017).

¹⁷ "technical and financial support can be provided"

Notre analyse fait apparaître un cinquième type de système d’approvisionnement, qui n’a pas été décrit dans la littérature, et dont le fonctionnement semble prometteur pour la diversification : les systèmes d’approvisionnement co-construits entre les agriculteurs et les opérateurs de l’aval. Dans ces systèmes, la construction des coordinations, la définition des produits et des modalités de leur évaluation (caractéristiques de la production et caractéristiques du produit final), ne sont pas fixées uniquement par l’aval, mais sont l’objet de négociations avec les agriculteurs, qui sont souvent eux-mêmes à l’initiative du développement de la filière.

Les relations entre agriculteurs et opérateurs des filières dans ces systèmes d’approvisionnement diffèrent donc significativement de celles que l’on trouve dans les systèmes d’approvisionnement coordonnés par l’aval ou par le marché. Ce résultat souligne que l’identification des rapports de pouvoir (notamment la capacité d’action ou d’initiative des acteurs) dans la relation est essentielle pour comprendre les relations entre agriculteurs et aval dans les systèmes d’approvisionnement, et la manière dont elles affectent les systèmes de production des agriculteurs. Différents auteurs ont exploré la manière dont les rapports de pouvoir entre agriculteurs et acteurs des filières pouvaient être rééquilibrés et conduire à une plus grande capacité d’action des agriculteurs (De Herde et al., 2019; Dolinska and d’Aquino, 2016; Rosin et al., 2017). Les systèmes d’approvisionnement co-construits entre agriculteurs et opérateurs de l’aval ressemblent à des modes de commercialisation décrits par Gaitan Cremaschi et al. (2020), que ces auteurs limitent cependant aux circuits courts, mobilisés par de petites exploitations en agriculture biologique. Dans ces systèmes, les décisions sur les contraintes de production et de qualité sont prises par des collectifs d’agriculteurs, avec un contrôle plus ou moins formel du respect de ces contraintes par le collectif. Les opérateurs de l’aval (supermarchés, agro-industries) semblent absents de ces négociations, contrairement aux cas que nous avons décrits.

On peut considérer que les systèmes d’approvisionnement co-construits empruntent des caractéristiques de fonctionnement à la fois aux systèmes coordonnés par l’aval et aux systèmes en circuits courts coordonnés par les agriculteurs. En cela, ils se rapprochent de la notion de systèmes « hybrides » (entre systèmes dominants et systèmes alternatifs) que l’on retrouve dans différents travaux (Gaitan-Cremaschi et al., 2020; Gasselinet al., 2021; Lamine et al., 2019; Morel et al., 2020). Plus spécifiquement, ces systèmes d’approvisionnement co-construits sont peut-être une forme préliminaire de systèmes coordonnés par des contrats, amenés à être « rigidifiés » par l’aval à l’attention d’une plus grande masse d’agriculteurs ; ou au contraire, une forme de coordination plus souple, garantissant plus d’autonomie aux agriculteurs que cette autonomie intéresse et n’effraie pas.

4.1.2 Contribution des différents types de systèmes d’approvisionnement à la diversification des territoires

Les systèmes d’approvisionnement coordonnés par l’aval sont ceux qui, dans les trois territoires étudiés, mènent à davantage de diversification, en termes de nombre d’espèces et de surfaces concernées. Ces systèmes présentent cependant des limites, notamment liées aux asymétries de pouvoir (i) entre les premiers opérateurs de l’aval et les agriculteurs (rigidité de ces systèmes, manque d’autonomie décisionnelle laissée aux agriculteurs), et (ii) entre les premiers opérateurs de l’aval et leurs acheteurs (difficultés de coordination à l’aval, de mise en place de partenariats sur le long terme permettant de sécuriser la commercialisation des produits). Ces limites conduisent parfois à des controverses entre acteurs ou à des difficultés dans le

développement des filières. Les exigences de suivi des spécifications techniques fixées par les contrats dans les systèmes coordonnés par l'aval peuvent par exemple sembler en contradiction avec la recherche, par les opérateurs de l'aval, d'agriculteurs démontrant une certaine « technicité », autrement dit une capacité à analyser le fonctionnement de leur système et à réagir en conséquence, de manière suffisamment générique pour pouvoir s'adapter à différentes cultures.

Les systèmes d'approvisionnement co-construits et ceux coordonnés par les agriculteurs (circuits courts) permettent davantage d'adaptation aux conditions locales et aux variations interannuelles, mais en contrepartie d'investissements plus importants des agriculteurs dans les activités post-récolte, de commercialisation et de production de connaissances, voire dans la production ou la recherche de semences de variétés adaptées à leurs objectifs. En termes de diversité des cultures sur le territoire, ces systèmes conduisent à une plus large gamme de cultures, localement, que le développement de cultures de diversification cultivées chacune autour d'une usine ou dans une zone pédoclimatique donnée. Ces systèmes représentent cependant des surfaces de cultures de diversification plus faibles que les systèmes coordonnés par l'aval. Si les systèmes d'approvisionnement coordonnés par les agriculteurs ont vocation à concerner individuellement de faibles surfaces, certains acteurs des systèmes d'approvisionnement co-construits se questionnent sur les compromis à trouver entre nombre de cultures collectées et surfaces représentées par chaque culture. Il serait intéressant d'explorer dans quelle mesure des systèmes d'approvisionnement co-construits pourraient fonctionner avec des surfaces plus importantes, tout en conservant une flexibilité et des marges de manœuvre importantes pour les agriculteurs.

La question des tensions entre autonomie et coopération des agriculteurs, et de leurs conséquences sur les pratiques agricoles, a été explorée par Stock et al. (2014). Les auteurs proposent de promouvoir une « autonomie réelle » (*actual autonomy*) des agriculteurs dans l'organisation de leur travail, associée à des organisations coopératives territoriales où les agriculteurs « choisissent de coopérer en vue d'atteindre des objectifs d'ordre à la fois social et environnemental ¹⁸ ». Le développement de (nouvelles ?) formes de coopération entre agriculteurs est ainsi une piste prometteuse pour étendre les dynamiques de diversification. La question du développement de davantage de systèmes d'approvisionnement co-construits rejoint également des réflexions engagées dans les travaux sur la gestion stratégique des niches (*strategic niche management*) et sur les relations entre systèmes dominants et systèmes alternatifs. Brunori et al. (2019) proposent ainsi de considérer les dynamiques des pratiques mises en œuvre dans les niches d'innovation à travers les mécanismes (i) de réplification (capacité des configurations de pratiques des niches à se répliquer dans le temps et dans l'espace), (ii) de changement d'échelle (opportunités qu'ont les configurations de pratiques de s'étendre, par exemple en attirant de nouveaux participants), et (iii) de traduction (capacité des configurations de pratiques à intégrer ou à influencer le système sociotechnique plus large au sein duquel la niche évolue). Si la capacité des systèmes d'approvisionnement co-construits à « changer d'échelle » est probablement limitée par les mécanismes de coordination qu'ils impliquent, ces systèmes d'approvisionnement semblent, par contre, pouvoir être « répliqués » de manière efficace dans une diversité de situations et pour une diversité de cultures.

Enfin, nous avons montré que les caractéristiques de fonctionnement contrastées des différents types de systèmes d'approvisionnement des cultures de diversification leur permettent, dans nos trois territoires d'étude, d'apporter des dynamiques complémentaires à la diversification

¹⁸ "choose to cooperate in pursuit of both social and environmental goals"

du territoire, en mobilisant différents agriculteurs, différentes cultures et différentes zones de production, ou en étant combinés dans une exploitation ou par un opérateur de l'aval.

4.2 Des innovations techniques et organisationnelles associées aux systèmes d'approvisionnement de cultures de diversification

La conduite et la collecte de cultures de diversification constituent en elles-mêmes des activités innovantes puisqu'elles diffèrent des systèmes d'approvisionnement dominants, ceux des cultures principales, sur chaque territoire d'étude. On peut également s'interroger sur les innovations techniques et organisationnelles qui sous-tendent ces systèmes d'approvisionnement alternatifs. Notre analyse montre l'existence d'une large gamme d'innovations dans les systèmes d'approvisionnement, à la fois (1) des innovations techniques : nouvelles variétés, modalités de conduite des systèmes de culture, procédés de transformation, ... ; et (2) des innovations organisationnelles : encadrement de la conduite des cultures par les opérateurs des systèmes coordonnés par l'aval, négociation des critères de qualité des productions dans les systèmes co-construits, mise en commun de matériel et d'infrastructures entre agriculteurs, etc. Les innovations développées pour mettre en place un système d'approvisionnement donné peuvent être répliquées (Brunori et al., 2019) d'un système d'approvisionnement à l'autre, en particulier par un même opérateur, en s'appuyant sur des infrastructures, sur des modèles d'organisation existants pour des cultures de diversification ou pour des cultures majeures sur le territoire, ce qui permet de réduire les coûts associés. Cette réplification des innovations est pensée par certains opérateurs dès la mise en place de filières de diversification, à travers la recherche d'innovations techniques qui pourront être appliquées à plusieurs espèces, à coûts décroissants.

Les innovations développées dépendent des cultures et des territoires, mais aussi du type de système d'approvisionnement concerné : l'innovation variétale sur les cultures de diversification peut ainsi être organisée localement, à partir de variétés ou d'espèces anciennes, dans des systèmes co-construits ou coordonnés par les agriculteurs, ou se dérouler à des échelles nationale ou internationale pour la sélection de nouvelles variétés associées aux systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché. Là où certaines innovations prennent comme point de départ les conditions de conduite optimale des cultures (par exemple, définition de critères de qualité des sols pour la culture de la betterave sucrière), d'autres partent des contraintes posées par les conditions locales (par exemple, définition d'un itinéraire technique permettant la culture du chanvre en sols pauvres). Les innovations développées dans le cadre de la diversification des cultures, comme toutes innovations, s'inscrivent ainsi toujours dans un contexte qui comporte des enjeux à la fois techniques et sociaux (Akrich et al., 1987; Gasselin et al., 2021). Les configurations d'acteurs et les visées diffèrent d'une situation à l'autre, et déterminent en partie les dynamiques de diversification que l'on a observées.

Dans de nombreux cas, dans les trois territoires, le développement de systèmes d'approvisionnement pour les cultures de diversification est associé à de nouvelles configurations d'acteurs ou à l'évolution des activités prises en charge par certains acteurs, par rapport au fonctionnement des systèmes d'approvisionnement dominants : mise en place de nouveaux partenariats (notamment dans les systèmes co-construits) avec des acteurs de la R&D, des entreprises de travaux agricoles, des unités de transformation... ; prise en charge d'activités de stockage et de transformation par les agriculteurs, ou d'activités de

transformation, de distribution ou de production de connaissances par les opérateurs de collecte et de stockage ; émergence de nouveaux collectifs (par exemple une structure juridique hybride entre une association d'agriculteurs et une industrie agroalimentaire). Ces reconfigurations traduisent le développement d'innovations couplées (Boulestreau et al., 2022; Meynard et al., 2017). Selon les cas, ces innovations sont coordonnées entre plusieurs acteurs en partenariat, ou par un acteur qui devient alors central pour le fonctionnement du système d'approvisionnement. Les partenariats entre les acteurs des systèmes d'approvisionnement pour certaines activités (comme le stockage ou la transformation, notamment) traduisent également une stratégie de répartition des risques entre ces acteurs qui permettent de définir les parts respectives de chacun dans la « prise de risque » associée au développement d'une ou plusieurs filières de diversification.

4.3 Une diversité de dynamiques territoriales de diversification

4.3.1 Des dynamiques de diversification marquées par l'histoire des territoires

Les dynamiques de diversification d'un territoire sont liées à la possibilité d'émergence et de pérennisation de systèmes d'approvisionnement en cultures de diversification. Nous montrons ici que, dans les trois territoires étudiés, ces dynamiques dépendent (1) de la volonté et de la capacité des opérateurs de l'aval dominants à être moteurs du développement de filières de diversification et (2) de la capacité d'autres acteurs (opérateurs de l'aval plus petits, collectifs d'agriculteurs...) à s'organiser pour développer des filières de diversification « alternatives ».

Les opérateurs de collecte dominants sur un territoire sont ceux qui collectent la majeure partie des volumes des cultures principales de ce territoire. Les stratégies de ces opérateurs et les logiques d'action sous-jacentes aux systèmes de culture dominants sur le territoire sont donc interdépendantes. Ces opérateurs ont un pouvoir d'influence important sur la nature des productions sur le territoire ; selon que ces opérateurs s'engagent ou non dans le développement de filières de diversification, et qu'ils sont prêts ou non à réduire les volumes de collecte des cultures principales, les dynamiques de diversification d'un territoire seront donc très différentes. La diversification d'un territoire ne se réfléchit donc pas indépendamment des systèmes agricoles déjà en place sur ce territoire (systèmes de culture, systèmes d'approvisionnement, acteurs).

Comme le montrent nos 3 cas d'étude, les dynamiques de diversification d'un territoire dépendent également de son tissu industriel agroalimentaire : la présence d'industries agroalimentaires, leur diversité, la nature des produits qu'elles transforment, déterminent une partie des débouchés possibles pour des cultures de diversification, des volumes que ceux-ci pourront représenter et des valeurs ajoutées qui y seront associées. L'installation ou la création de nouvelles industries est un levier majeur de diversification du territoire, mais la nature de ces industries détermine également les zones du territoire qui seront affectées par la diversification (zones productives, zones peu productives, tout le territoire de manière indifférenciée ?), et peut s'avérer plus ou moins en cohérence avec les problématiques des agriculteurs du territoire. Les controverses soulevées par les acteurs du territoire autour de tel ou tel système d'approvisionnement jouent un rôle dans l'émergence de nouveaux systèmes d'approvisionnement qui reposent sur des pratiques différentes. Le rôle des controverses dans l'évolution des pratiques sur un territoire a été montré par Belmin et al. (2018b).

Le développement de différents systèmes d'approvisionnement de cultures de diversification pose également la question des soutiens (structures de conseil, de R&D, pouvoirs publics...)

sur lesquels les acteurs de ces systèmes peuvent s'appuyer : dans quelle mesure ces structures s'organisent-elles pour soutenir la diversification sur le territoire ? La nature des soutiens possibles détermine également les orientations de la diversification du territoire (par exemple vers la relocalisation de la production alimentaire, les circuits courts ; vers les filières de qualité, les filières biologiques ; vers le développement de la production de quelques cultures emblématiques, d'indications géographiques). Selon ces orientations, et notamment selon qu'elles soutiennent certaines productions ou des systèmes diversifiés, la diversité de cultures sur le territoire ne sera pas la même (voir §4.3.2 ci-dessous).

Enfin, la concentration plus ou moins importante des systèmes d'approvisionnement de cultures de diversification par les opérateurs de l'aval amène à des problématiques et à des conséquences différentes en termes de diversification du territoire. La gestion des risques, en particulier, ne sera pas la même pour des opérateurs spécialisés sur une culture, ou pour des opérateurs collectant une large gamme de cultures. Nous n'avons pas traité directement dans ce chapitre des effets agronomiques et environnementaux de la diversification. Cependant, le développement d'une diversification « vertueuse » (du point de vue agronomique, environnemental, de critères de durabilité) nécessite un raisonnement systémique de cette diversification, et donc un raisonnement multi-systèmes d'approvisionnement. On a constaté en Scanie, où beaucoup de filières étaient spécialisées, qu'un raisonnement plus systémique de la diversification était proposé par les structures de conseil aux agriculteurs. La question qui se pose est celle de la gouvernance d'une réflexion systémique sur la diversification du territoire, et de la manière dont les différents acteurs des systèmes d'approvisionnement sont impliqués dans cette réflexion. On rejoint ici les problématiques associées aux travaux sur les dynamiques des systèmes alimentaires et des systèmes agricoles. Lamine et al. (2019) proposent le concept de « *système agri-alimentaire territorial* », qui nous semble intéressant puisqu'il rejoint le croisement que nous avons proposé dans ce chapitre entre les filières agri-alimentaires, d'une part, et le territoire d'autre part. L'entrée par le territoire, plutôt que par une filière ou un réseau d'acteurs spécifique, permet à la fois de comprendre les interactions entre différentes initiatives (dans notre cas, de diversification) et la manière dont leurs combinaisons contribuent à constituer le système agri-alimentaire global du territoire. Dans une perspective dynamique, Boulestreau et al. (2021) analysent le « *système agri-alimentaire sectoriel et territorial* » pour comprendre les évolutions des pratiques des acteurs des systèmes agri-alimentaires d'un territoire. C'est bien le croisement entre les interactions « horizontales » sur un territoire et les interactions « verticales » au sein des filières qui permet d'aboutir à un diagnostic du système agri-alimentaire et de proposer des leviers d'action pour le faire évoluer.

4.3.2 Un double mouvement vers la diversification des territoires

Les dynamiques de diversification des territoires résultent à la fois de dynamiques de « spécialisation » autour de certaines cultures de diversification, et de dynamiques de développement de « gammes » de cultures de diversification. Ce double mouvement vers la diversification rejoint des travaux en économie sur les questions de spécialisation, et d'orientations vers des économies d'échelles ou des économies de gamme (de Roest et al., 2018). Les modèles de diversification « spécialisée » (particulièrement représentés en Scanie) permettent d'accroître les volumes de collecte et les surfaces concernées par les cultures de diversification, mais ils présentent des risques de « verrouillage » : tous les acteurs s'organisent autour des cultures présentes dans le territoire, les pesanteurs du système sociotechnique freinant la re-diversification du territoire en cas d'interruption d'une filière spécialisée. Les

modèles de diversification « de gamme » (fortement représentés dans les Marches) permettent aux acteurs d'explorer une plus grande diversité de cultures et de s'adapter plus facilement aux aléas, mais ils entraînent une dispersion dans les ressources utilisées pour développer des connaissances et des compétences sur ces cultures, ainsi qu'une plus grande complexité de gestion. A l'échelle d'un territoire, il y a alors un équilibre à trouver entre l'investissement dans des ressources permettant de développer (i) quelques cultures de diversification qui représenteront des surfaces importantes, et (ii) une large gamme de cultures présentes sur de petites surfaces, susceptible de participer à la résilience d'un territoire diversifié. Ces compromis ont été explorés dans des travaux portant sur les processus d'innovation en agriculture (Hoffecker, 2021), sur la gestion des ressources naturelles (Ostrom, 2012), ou sur la spécialisation agricole (Klasen et al., 2016). Ces différents auteurs soulignent l'importance des échelles de gestion collectives, qui permettent de coordonner (i) une certaine spécialisation à des niveaux de gestion individuelle, et (ii) une diversification à des niveaux de gestion collective, permettant d'aboutir à des situations satisfaisantes à ces deux niveaux de gestion. Nous avons ainsi observé, parmi les opérateurs collectant le plus grand nombre de cultures sur les trois territoires d'étude, des répartitions de la gamme des productions entre les agriculteurs, chaque exploitation ne produisant qu'une ou quelques-unes des cultures collectées.

4.3.3 Les leviers de la diversification des territoires

Les dynamiques de diversification des territoires se jouent à plusieurs niveaux d'organisation interdépendants : fermes, systèmes d'approvisionnement, filières aval. A chacun de ces niveaux, différentes trajectoires sont possibles, avec des compromis entre diversification spécialisée et diversification de gamme.

Au niveau des exploitations agricoles, la diversité des modalités possibles d'organisation des systèmes d'approvisionnement doit permettre aux agriculteurs de mobiliser un ou plusieurs types de systèmes d'approvisionnement de cultures de diversification correspondant à leurs objectifs et problématiques. On a constaté que la majorité des agriculteurs mobilisent différents types de systèmes d'approvisionnement, ce qui est cohérent avec les résultats de Gaitan-Cremaschi et al. (2020) ou Navarrete (2009). Diversifier nécessite pour les agriculteurs de mettre en cohérence le diagnostic qu'ils auront fait des circuits de commercialisation possibles pour les cultures de diversification, et leurs motivations à diversifier (voir Chapitre 1).

Au niveau du territoire, le soutien au développement de filières « de diversification » peut conduire localement à une micro-spécialisation, réduisant l'intérêt agronomique et environnemental de cette diversification. Il est donc nécessaire de soutenir la diversification des systèmes de culture et des paysages, autant que les filières de diversification. Cela passe par la réflexion conjointe, par les acteurs des systèmes agri-alimentaires, des problématiques territoriales (diversification des systèmes de culture et des paysages) et sectorielles (problématiques de filière), en dépassant les fonctionnements « en silo » qui concernent la plupart des acteurs (R&D, conseil, opérateurs de l'amont et de l'aval, pouvoirs publics...). De nouveaux « lieux » de discussion (dans les relations de conseil, de contractualisation, de prise de décision...) sont donc nécessaires pour développer des stratégies de diversification.

Pour les pouvoirs publics, les leviers de soutien à la diversification, pour être efficaces, doivent porter de manière cohérente :

(i) sur les différentes activités liées au fonctionnement des systèmes d'approvisionnement : dispositifs de coordination des acteurs, voire de co-construction de systèmes

d'approvisionnement ; dispositifs de sécurisation de la production, de réduction des risques associés aux incertitudes (en particulier les premières années) ; dispositifs de production de connaissances ;

(ii) sur les différents acteurs ou collectifs d'acteurs impliqués dans les systèmes d'approvisionnement de la diversification : agriculteurs, opérateurs de l'aval, structures de conseil, filière dans son ensemble ;

(iii) sur les différents types de systèmes d'approvisionnement à même de contribuer à la diversification (systèmes coordonnés par l'aval, co-construits entre agriculteurs et aval, coordonnés par le marché, circuits courts coordonnés par les agriculteurs, échanges entre agriculteurs), en tenant compte des caractéristiques de ces différents systèmes et de leurs possibilités de combinaisons.

4.4 Enseignements pour l'analyse des systèmes d'approvisionnement

On a analysé les pratiques à l'interface agriculteurs-opérateurs de l'aval. Le « grain » est celui d'une culture collectée par un opérateur avec un type de coordination. L'objectif de notre cadre d'analyse était de faire le lien entre (1) les pratiques des agriculteurs et le fonctionnement de l'exploitation agricole, et (2) le fonctionnement de l'aval des filières et son influence sur l'exploitation agricole.

Notre cadre d'analyse est basé (i) sur le concept de système d'approvisionnement (Le Bail and Le Gal, 2011; Navarrete et al., 2006), mobilisé jusqu'ici pour l'analyse d'une filière donnée, avec une description détaillée des composantes matérielles des systèmes, des liens entre pratiques agricoles et qualité, dans une visée de diagnostic ; et (ii) sur l'analyse des coordinations au sein des filières, mise en œuvre par Meynard et al. (2018). En simplifiant le cadre d'analyse des systèmes d'approvisionnement (notamment sur le volet des composantes matérielles de ces systèmes, pour lequel il aurait été beaucoup plus long de collecter des données), nous avons pu caractériser et comparer un grand nombre de systèmes d'approvisionnement et discuter de leurs dynamiques et de leurs interactions au sein des territoires, aspects encore très rarement traités dans la littérature sur les systèmes d'approvisionnement. Nous n'avons en revanche pas analysé systématiquement les données concernant les filières de l'amont, c'est-à-dire des intrants (notamment les semences) mobilisés par les agriculteurs qui diversifient. Nos résultats suggèrent que les modalités de fournitures des semences (volumes de semences disponibles, et nature des variétés, anciennes, traditionnelles ou nouvelles) dépendent des types de systèmes d'approvisionnement, et il serait intéressant de mieux étudier ce facteur nécessaire à la diversification dans le futur.

Nous avons caractérisé le fonctionnement des systèmes d'approvisionnement principalement à travers trois données clés : le mode de coordination, utilisé comme point de départ de la typologie ; les modalités de gestion de l'incertitude sur la production ; et les modalités de production et de circulation des connaissances. Cela a permis de rendre compte de la manière dont les acteurs des trois territoires d'étude répondent à des enjeux majeurs pour la diversification : le manque de connaissances et de références, les incertitudes, et les difficultés de coordination des acteurs. L'analyse de ces éléments du fonctionnement des systèmes d'approvisionnement nous a également permis de comprendre comment ils influencent les dynamiques de diversification des exploitations agricoles et des territoires.

Les pratiques des acteurs des filières et de leurs interactions avec les agriculteurs sont classiquement analysées à travers d'autres disciplines que l'agronomie, notamment l'économie

et les sciences de gestion (Cholez et al., 2020, 2017; Le Gal et al., 2008). L'analyse de ces pratiques sous l'angle de l'agronomie nous a permis de caractériser plus finement les implications de différents modes de coordination des systèmes d'approvisionnement pour les systèmes de production agricole qui y sont associés. Nous avons ainsi montré comment ces modes de coordination influencent les pratiques de conduite des cultures de diversification des agriculteurs, mais aussi l'organisation de leurs assolements, de leurs systèmes de culture, du fonctionnement de leur ferme, et l'évolution de ces différents éléments au cours du temps. Nous faisons ainsi le lien entre les attentes des agriculteurs, les systèmes d'approvisionnement qu'ils mobilisent et les dynamiques de leurs systèmes de culture. Ce lien prend d'autant plus de sens lorsqu'il est replacé dans un contexte territorial, avec ses caractéristiques pédoclimatiques et sociotechniques propres.

CHAPITRE 3. APPRENTISSAGES DES AGRICULTEURS AU COURS DE LEURS TRAJECTOIRES DE DIVERSIFICATION DES CULTURES

Ce chapitre s'appuie sur des entretiens et analyses mis en œuvre dans le cadre du stage de master 2 de Louis Lebrun¹⁹.

1 INTRODUCTION

Le manque de connaissances et de références sur les cultures mineures est un obstacle majeur à la diversification des cultures (Meynard et al., 2018; Morel et al., 2020). Cependant, les agriculteurs engagés dans des trajectoires de diversification acquièrent des connaissances leur permettant de mettre en œuvre cette diversification, en faisant appel, selon le type de trajectoire dans lequel ils sont engagés, (i) à des ressources extérieures (pairs, conseillers), ou (ii) à l'expérimentation sur leur ferme (Chapitre 1). Les modes de production et de circulation des connaissances varient en fonction des systèmes d'approvisionnement dans lesquels les productions issues des cultures de diversification sont commercialisées (Chapitre 2).

L'objectif de ce chapitre est de comprendre quels types de connaissances nouvelles sont acquises et mobilisées par les agriculteurs au cours de leurs trajectoires de diversification, et par quels processus d'apprentissage. En nous appuyant sur 16 entretiens avec des agriculteurs ayant diversifié leurs cultures en Vendée, Maine-et-Loire et Loire-Atlantique, nous analysons dans ce chapitre les trajectoires de diversification sous l'angle des processus d'apprentissages qu'elles mettent en jeu. Après avoir caractérisé les situations dans lesquelles ces processus d'apprentissage ont lieu, et les connaissances qui en découlent, nous décrivons plus finement ces processus d'apprentissage, pour en caractériser la diversité à travers la description de différents styles d'apprentissage distincts. Selon les trajectoires de diversification, les agriculteurs mobilisent ces styles d'apprentissage dans un ordre varié et à des moments divers, et produisent ce faisant des savoirs pluriels.

¹⁹ Lebrun, L., 2020. Connaissances et apprentissages pour la diversification. Quels apprentissages sont mis en œuvre par les agriculteurs qui diversifient leurs cultures ? Mémoire de master, AgroParisTech, Université Paris-Saclay.

2 METHODE : ANALYSE DES PROCESSUS D'APPRENTISSAGE DES AGRICULTEURS

2.1 Cadre d'analyse

Les *trajectoires de diversification* (Figure 12) des exploitations agricoles correspondent à la manière dont la diversité des cultures évolue dans ces exploitations au cours du temps. Nous les avons caractérisées par un ensemble d'indicateurs, et par des déterminants relatifs aux motivations des agriculteurs et aux ressources qu'ils mobilisent pour diversifier (Chapitre 1).

Au cours de ces trajectoires de diversification, les *apprentissages* des agriculteurs sont déclenchés à propos de situations particulières, dans lesquelles l'agriculteur rencontre des problèmes dans l'exercice de son activité. Les apprentissages permettent alors à l'agriculteur d'acquérir de nouvelles *connaissances*, donnant du sens à son expérience et reconfigurant ses ressources cognitives, et d'agir. Ce faisant, l'agriculteur transforme son activité afin de l'adapter à la situation de travail (Pastré, 2009; d'après Chantre et al., 2013).

Nous appelons *situations d'apprentissage* (Figure 12) les moments de la trajectoire de diversification au cours desquels l'agriculteur construit une situation problématique, identifie différents changements de pratiques qui constituent des « solutions » possibles à cette situation problématique, et éventuellement met en œuvre ces changements. Les situations d'apprentissage sont donc les situations de travail dans le cadre desquelles se construisent les apprentissages des agriculteurs relatifs à la diversification.

Les apprentissages des agriculteurs se construisent à la fois (i) par la *pratique*, à travers des expérimentations et des observations sur leur ferme, et (ii) par des *interactions sociales* avec d'autres agriculteurs, des conseillers, ou la consultation de documents, de références, qui leur permettent de confronter leur expérience à d'autres expériences, à des savoirs produits hors de leur ferme.

Intégrant ces deux éléments (pratique, ou expérience, et interactions sociales), Chantre et al. (2014) définissent les *processus d'apprentissage* (Figure 12) comme « *des combinaisons d'interactions sociales et de formes d'expériences, organisées en un processus composé de phases successives. Les agriculteurs puisent des ressources, que ce soit pour identifier ou construire des problèmes, des solutions, les évaluer ; et construisent des formes d'expériences, qui sont l'occasion de tester et d'évaluer ces solutions dans le contexte singulier de leur propre activité ou dans un contexte proche dans le cas de l'observation chez un pair* ».

Reprenant la proposition de ces autrices, ainsi que d'autres travaux récents qui se sont intéressés aux processus d'apprentissage des agriculteurs (Catalogna et al., 2018; Cristofari et al., 2018), nous distinguons trois *phases* constituant un processus d'apprentissage : (i) la *mise en alerte*, (ii) la *mise en œuvre* et (iii) l'*évaluation*. Ces trois phases, caractérisées par différentes modalités d'interactions sociales et d'expérience, sont trois composantes constitutives d'un processus d'apprentissage généralement non linéaire : ces phases peuvent se dérouler en même temps, ou il peut y avoir des allers-retours entre les phases.

L'échelle temporelle d'un processus d'apprentissage est généralement celle d'un cycle de production, mais un certain nombre de processus d'apprentissage se déroulent sur plusieurs années.

Cristofari et al (2018) soulignent que « *peu de travaux traitent des apprentissages des agriculteurs de manière compréhensive, comme des processus qui impliquent une diversité de*

situations d'apprentissage spécifiques. Quelques auteurs ont tenté d'aller dans cette direction, comme Lyon (1996), qui a décrit différents aspects des processus d'apprentissage d'agriculteurs britanniques. Plus récemment, Chantre et al. (2014) ont identifié 10 styles d'apprentissage des agriculteurs réduisant leurs doses d'intrants de synthèse, définis par les sources d'apprentissage mobilisées et/ou par des actions types (par exemple, « Test autonome d'une idée provenant d'un conseiller »)²⁰ ».

Les *styles d'apprentissage* (Figure 12) correspondent à des modalités particulières de processus d'apprentissage : ils permettent de décrire des processus d'apprentissage se déroulant de manière similaire dans différentes exploitations ou à différents moments des trajectoires de diversification.

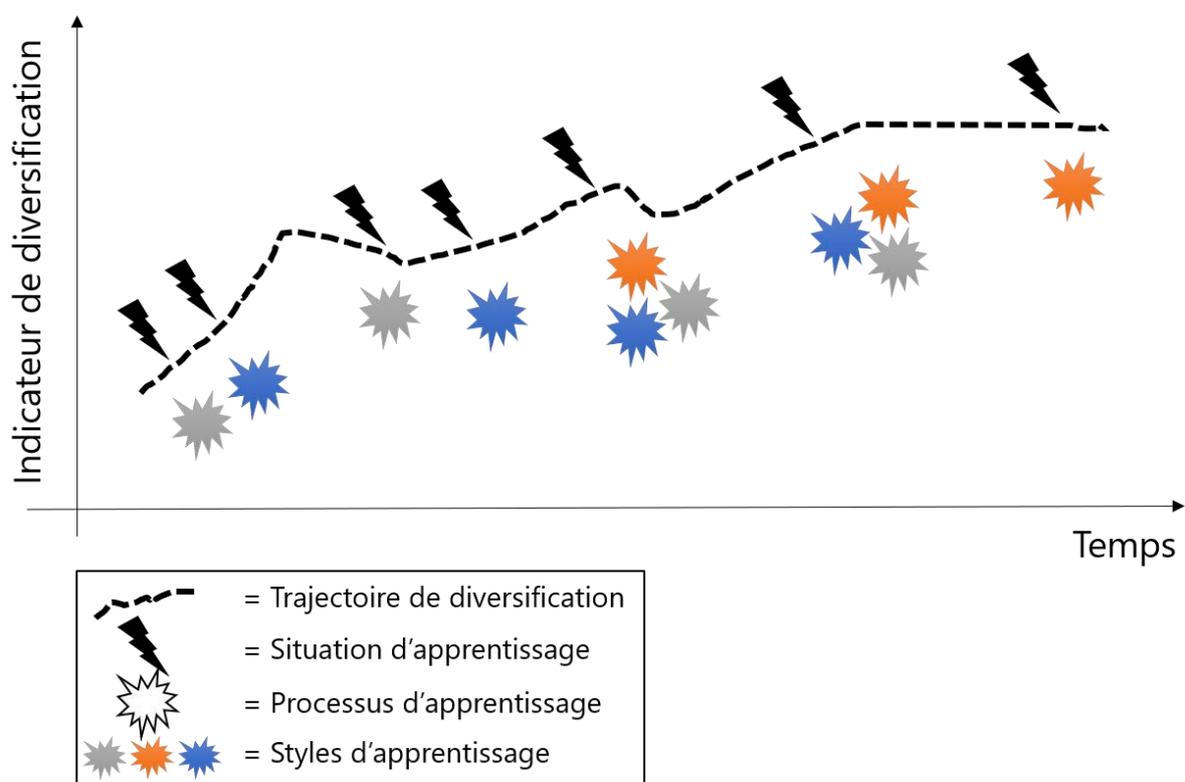


Figure 12 : Cadre d'analyse des apprentissages des agriculteurs au cours de leurs trajectoires de diversification : les trajectoires de diversification sont marquées par des situations d'apprentissage, qui donnent lieu à des processus d'apprentissage. La caractérisation de ces processus d'apprentissage permet de distinguer différents styles d'apprentissage.

²⁰ "few works deal with farmers' learning in a comprehensive way, as a process encompassing a diversity of specific learning situations. Some efforts were made in this direction by authors such as Lyon, F. (1996), who described diverse aspect of the learning processes of British farmers. More recently, Chantre, E. et al. (2014) proposed 10 learning styles defined by the learning source used and/or typical action (e.g. "Autonomous testing of an idea coming from an extension agent") undertaken by farmers reducing their chemical inputs doses."

2.2 Sélection des agriculteurs

Trois entretiens réalisés dans le cadre du chapitre 1, en Vendée, entre novembre 2018 et avril 2019, et suffisamment riches concernant les apprentissages des agriculteurs, ont été remobilisés pour l'analyse des processus d'apprentissage des agriculteurs concernés. Treize entretiens supplémentaires²¹ ont par ailleurs été réalisés entre février et juin 2020 en Vendée, Maine-et-Loire et Loire-Atlantique (départements limitrophes, avec des conditions pédoclimatiques similaires à celles rencontrées en Vendée), auprès d'agriculteurs ayant diversifié leurs cultures.

De manière similaire à la démarche adoptée dans le premier chapitre, nous avons cherché à constituer un panel d'enquêtes le plus riche possible en choisissant des cas très différents les uns des autres (technique du *maximum variation sampling*, d'après Patton, 2005), afin de mettre en lumière des tendances communes à des situations contrastées. Nous avons cependant sélectionné des agriculteurs possédant déjà une certaine expérience de la diversification (plusieurs années, souvent 5 ans ou plus, et plusieurs cultures de diversification introduites) afin de disposer d'une profondeur temporelle dans l'analyse des apprentissages. Nous avons choisi les exploitations enquêtées de manière à faire varier les paramètres suivants :

- (i) Les espèces de diversification introduites ;
- (ii) La culture dominante sur l'exploitation (blé et/ou maïs) ;
- (iii) Les débouchés mobilisés pour vendre les cultures de diversification ;
- (iv) Les réseaux socio-professionnels dans lesquels l'agriculteur est présent (groupes de développement agricole, réseaux d'échanges entre agriculteurs, réseaux de conseil, etc.) ;
- (v) L'expérience de diversification de l'agriculteur (évaluée d'après le nombre d'années depuis la première introduction d'une culture de diversification).

Les caractéristiques des 16 exploitations enquêtées sont présentées dans le Tableau 11.

²¹ Stage de master 2 de Louis Lebrun.

Tableau 11 : Caractéristiques des exploitations agricoles enquêtées

EA	Mode de production	Débouchés	Réseaux	Expérience	Culture dominante (%SAU-STH)	Cultures de diversification
A.3	P-E bio	Agriculteur	GAB, Civam, CA	++	Triticale-pois-féverole (35%)	Cameline, Lupin, Soja
A.4	P-E bio	Agriculteur Aval	Civam	+++	Maïs (35%), triticale-pois-féverole (20%)	Haricots semences, Quinoa, Pommes de terre, Soja
A.5	P-E bio	Agriculteur Aval	Civam, conseil coop	++	Prairies (60%)	Chanvre, Sarrasin, Avoine
A.16	P-E bio	Agriculteur	Civam, AMAP	++	Blé (30%)	Lupin, Lentille, Sarrasin, Cameline
A.1	GC bio	Agriculteur	Frab, GAB, Inst. de recherche	+++	Blé (25%)	Chanvre, Soja, Lupin, Cameline, Féverole
A.2	GC bio	Aval	GAB, Civam, conseil coop	+++	Blé (30%), féverole (30%)	Sarrasin, Lentille-cameline, Seigle-lentillon, Pois-chiche, Soja, Féverole
A.8	P-E conv	Aval	GEDA, conseil privé	++	Blé (50%)	Chanvre, Lin, Sarrasin
A.9	P-E conv	Aval	GEDA, conseil coop	++	Blé (50%)	Chanvre, Lentille
A.10	P-E conv	Aval	conseil coop	+	Blé (50%)	Chanvre, Lin
A.6	GC conv	Aval	APAD, CDPM, CA, conseil coop	+++	Blé (35%), Maïs (30%)	Lin, Lentille, Sarrasin, Féverole
A.7	GC conv	Aval	conseil coop	++	Blé (50%)	Chanvre
A.11	GC conv	Aval	Conseil coop, semenciers	+++	Blé (35%), Maïs (30%)	Chanvre, Oignon semence, Quinoa, Sorgho, Pois-chiche, Semences potagères
A.12	GC conv	Aval	CDPM, semenciers	+	Maïs (55%)	Œillette, Navet semences, Semences florales
A.13	GC conv	Aval	CDPM, conseil coop	++	Blé (60%)	Luzerne porte-graine, Lentille Pois-chiche
A.14	GC conv	Aval	CDPM, conseil coop	++	Blé (50%)	Lentille, Pois-chiche, Pois prot. semences
A.15	GC conv	Agriculteur Aval	CDPM, Inst. de recherche	+	Maïs (20%)	Oignon semence, Betterave semence, Œillette, Sauge sclarée et officinale, Autres semences potagères et florales

Mode de production : P-E = polyculture-élevage, GC = grandes cultures, bio = agriculture biologique, conv = agriculture conventionnelle. **Débouchés** : aval = systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval ; agriculteur = systèmes d'approvisionnement co-construits, coordonnés par le marché ou en circuits courts. **Réseaux** : *structures de développement agricole* : GAB =groupements des agriculteurs biologiques, Civam = Centres d'initiative pour valoriser l'agriculture et le milieu rural, CA = chambres d'agriculture, GEDA = groupes d'étude et de développement agricole, APAD = association pour la promotion d'une agriculture durable, CDPM = comité de développement plaine et marais, Frab = fédération régionale de l'agriculture biologique ; *structures de l'aval* : conseil coop = coopératives, semenciers, AMAP = associations pour le maintien d'une agriculture paysanne ; Inst. de recherche = instituts de recherche ; conseil privé = structures privées spécialisées dans le conseil. **Expérience** = durée depuis la première introduction d'une culture de diversification par l'agriculteur : + = 2 à 4 ans, ++ = 5 à 9 ans, +++ = 10 à 20 ans. **SAU – STH** = Surface Agricole Utile – Surface Toujours en Herbe.

2.3 Déroulement des entretiens

Un entretien semi-directif d'une durée de deux heures environ a été réalisé de visu dans chaque exploitation agricole, avec l'agriculteur responsable des prises de décision sur la conduite des cultures de l'exploitation, et complété par des échanges par mail ou téléphone lorsque des questions de compréhension émergeaient à l'analyse.

Une première partie de l'entretien était consacrée à comprendre les principaux éléments de l'historique de l'exploitation et de son fonctionnement au moment de l'entretien (systèmes de culture, ressources productives, circuits de commercialisation, réseaux de conseils, etc.), et à identifier les cultures de diversification présentes. Dans une deuxième partie, il était demandé à l'agriculteur de retracer dans le détail les premières années d'introduction de plusieurs de ces cultures de diversification (2 à 3 en général), et les changements de pratiques ayant eu lieu par la suite en lien avec la conduite de ces cultures. Cette deuxième partie des entretiens se rapprochait de l'*entretien d'explicitation* (Vermersch, 1990), avec l'objectif de comprendre ce que l'agriculteur a fait, comment il l'a fait, quels savoirs il a mobilisés ou produits, et comment ces différents points ont évolué au fil de la trajectoire.

Ces entretiens ne suivaient donc pas le même déroulé que les entretiens réalisés en lien avec le Chapitre 1. Le guide d'entretien (annexe 2.4), centré sur la question des apprentissages, ne permet pas de caractériser de manière aussi précise que dans le chapitre 1 les trajectoires de diversification des exploitations et leurs déterminants.

Nous décrivons dans la partie suivante comment ces entretiens nous ont permis d'identifier différents processus d'apprentissage, de les caractériser et de comprendre les interactions entre ces processus d'apprentissage.

2.4 Traitement des données

2.4.1 Identification et description des situations d'apprentissage

Un compte-rendu de chaque entretien a été réalisé, à partir duquel nous avons retracé les 16 trajectoires de diversification des exploitations enquêtées. Nous avons repéré, dans le récit fait par les agriculteurs de leur trajectoire de diversification, les *situations d'apprentissage* qu'ils rencontrent. L'identification de ces situations d'apprentissage nous permet de décrire dans quel contexte, et à **propos de quoi**, les agriculteurs apprennent.

2.4.2 Caractérisation des processus d'apprentissage

A partir de l'identification des situations d'apprentissage, nous avons caractérisé 143 *processus d'apprentissage* intervenant dans l'ensemble des trajectoires de diversification des 16 agriculteurs, pour comprendre **comment** les agriculteurs qui diversifient acquièrent des connaissances qui contribuent à la construction de leur trajectoire de diversification.

Nous avons utilisé, pour caractériser les processus d'apprentissage selon les trois phases de mise en alerte, de mise en œuvre et d'évaluation, différentes variables issues de la littérature, présentées dans la **Figure 13 : Construction de la grille d'analyse des processus d'apprentissage liés à la diversification**, au centre de la figure. Les variables de caractérisation d'un processus d'apprentissage sont regroupées selon trois phases : I. Mise en alerte, II. Mise en œuvre, III. Evaluation. Nous avons construit cette grille d'analyse à partir de

trois cadres proposés dans la littérature, représentés à gauche et à droite de la figure : (a) L'analyse d'une situation expérimentale par Catalogna et al., 2018, (b) L'analyse d'un processus d'apprentissage par Chantre et al., 2014, et (c) l'analyse d'un processus d'apprentissage par Cristofari, 2018. Figure 13 ci-dessous (Catalogna et al., 2018; Chantre et al., 2014; Cristofari, 2018). Ces variables portent notamment, sur les modalités d'interaction sociale de l'agriculteur, sur les diverses observations réalisées, et sur les critères d'évaluation mobilisés. Concernant la grille d'analyse proposée par Chantre et al. (2014), nous n'avons représenté sur cette figure que les 8 variables (parmi 12 au total) intervenant dans la caractérisation des 10 styles d'apprentissage (ou configurations-types des conditions d'apprentissage) identifiés par ces autrices. Les 4 variables restantes ne se sont pas révélées significatives pour distinguer caractériser les différences entre styles d'apprentissage.

Nous avons fait évoluer la grille d'analyse présentée dans la Figure 13 au fil des entretiens, afin de l'adapter à la caractérisation de processus d'apprentissage relatifs à des situations de diversification des cultures. Les adaptations apportées ont en particulier visé à intégrer à la grille d'analyse la caractérisation de processus d'apprentissage liés à l'organisation du travail sur l'exploitation, à la commercialisation des productions issues de la diversification, et aux interactions avec une diversité d'acteurs impliqués dans la diversification des cultures. La version révisée de la grille de caractérisation des processus d'apprentissages (variables et leurs modalités) est présentée dans la section Résultats (chapitre 3 §3.2.1).

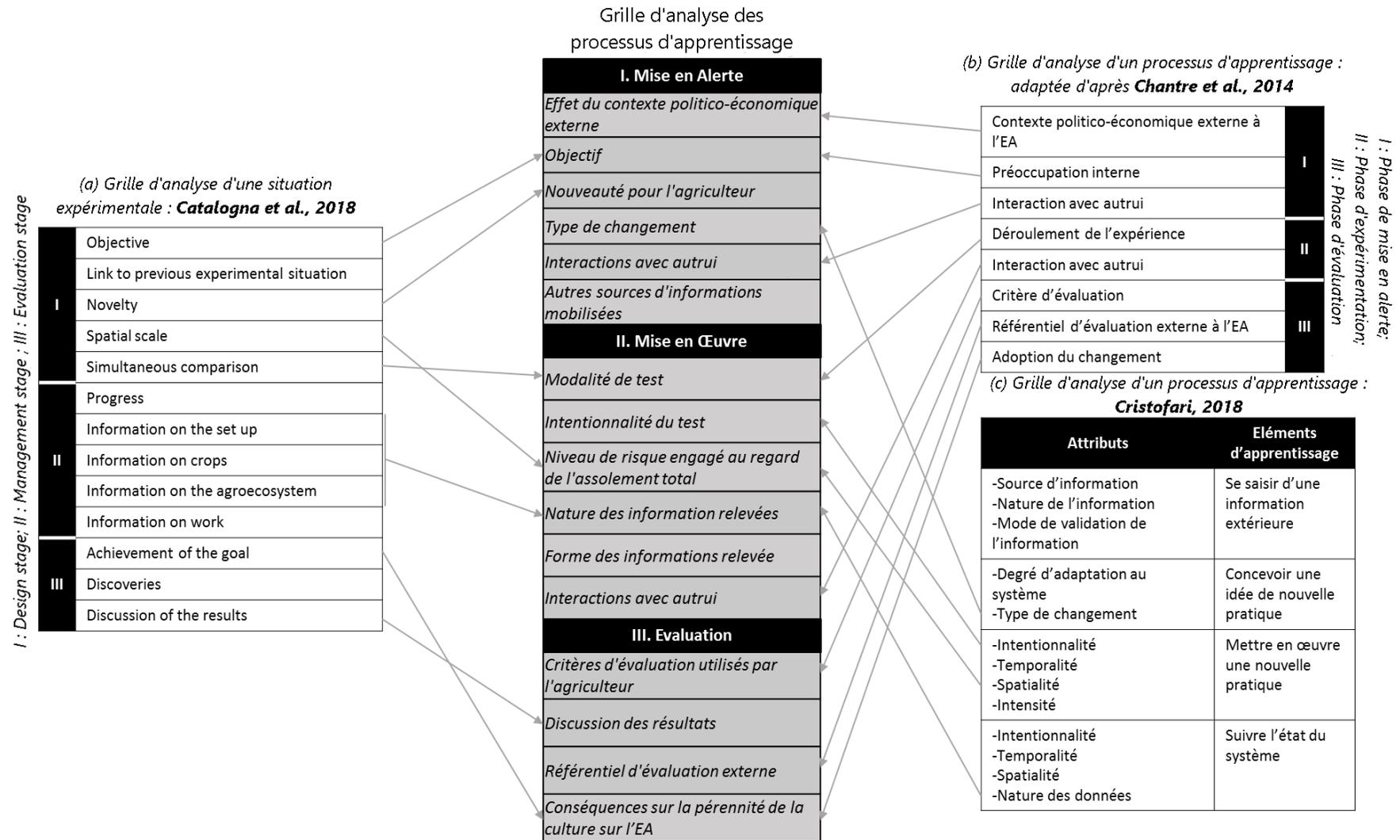


Figure 13 : Construction de la grille d'analyse des processus d'apprentissage liés à la diversification, au centre de la figure. Les variables de caractérisation d'un processus d'apprentissage sont regroupées selon trois phases : I. Mise en alerte, II. Mise en œuvre, III. Evaluation. Nous avons construit cette grille d'analyse à partir de trois cadres proposés dans la littérature, représentés à gauche et à droite de la figure : (a) L'analyse d'une situation expérimentale par Catalogna et al., 2018, (b) L'analyse d'un processus d'apprentissage par Chantre et al., 2014, et (c) l'analyse d'un processus d'apprentissage par Cristofari, 2018.

2.4.3 Classification statistique des processus d'apprentissage

Nous avons réalisé une classification des 143 processus d'apprentissage, caractérisés selon la grille d'analyse, à travers (i) une Analyse de Correspondances Multiples (ACM), permettant de condenser leur variabilité en un petit nombre de dimensions, puis (ii) une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), permettant de les réunir en quelques groupes de processus d'apprentissage qui présentent des caractéristiques communes. Les différents groupes identifiés constituent des *styles d'apprentissage*.

Ces traitements statistiques ont été réalisés sur R (v. 3.6.2) à l'aide du package FactoMineR. Les valeurs manquantes ont été remplacées par des valeurs estimées à l'aide du package missMDA. Les valeurs ainsi imputées ne participent pas à construire la classification.

2.4.4 Styles d'apprentissage dans les trajectoires de diversification des agriculteurs

Dans un dernier temps, nous avons replacé les processus d'apprentissage sur les trajectoires de diversification, en caractérisant la présence et l'enchaînement au cours du temps des différents styles d'apprentissage identifiés (Figure 12). Cela nous a permis d'établir des liens entre certaines caractéristiques de ces trajectoires et certains styles d'apprentissage.

3 RESULTATS

Les résultats de ce chapitre portent sur les apprentissages des agriculteurs au cours des trajectoires de diversification. Nous décrivons dans un premier temps la diversité des situations d'apprentissage des agriculteurs au cours de ces trajectoires (§3.1), puis nous présentons les trois styles d'apprentissage des agriculteurs (types de processus d'apprentissage) intervenant dans la diversification (§3.2). Enfin, nous analysons les relations entre ces styles d'apprentissage et les trajectoires de diversification (§3.3).

3.1 Diversité des situations d'apprentissage au cours des trajectoires de diversification

En reconstituant avec les agriculteurs leurs trajectoires de diversification, nous avons identifié différentes situations au cours de ces trajectoires où les agriculteurs ont été amenés à acquérir de nouvelles connaissances. Avant de caractériser les *processus d'apprentissage* qui conduisent à l'acquisition de ces connaissances, nous décrivons dans cette première partie les *situations d'apprentissage*, c'est-à-dire les situations dans lesquelles ils apprennent. Les transformations de leur système de production, envisagées ou expérimentées par les agriculteurs, nous permettent de repérer ces situations d'apprentissage. Nous les regroupons en sept catégories, que nous présentons ci-dessous afin de comprendre *dans quel contexte* et *à propos de quoi* les agriculteurs apprennent lorsqu'ils diversifient leurs systèmes de culture (Tableau 12).

Tableau 12 : Description des différents types de situations d'apprentissage identifiées au cours des trajectoires de diversification des agriculteurs. Ces situations d'apprentissage correspondent au contexte dans lequel se construisent des apprentissages et à l'objet sur lequel portent les connaissances acquises. Nombre de PA = nombre de processus d'apprentissage correspondant à chaque type de situation d'apprentissage.

Situation d'apprentissage	Nombre de PA	Description du contexte et de l'objet sur lequel portent les connaissances acquises	Exemples de situations d'apprentissage
1. Introduction d'une culture de diversification	50	Premier essai d'une culture de diversification, test de la culture : ressources et références sur la culture ; conséquences de l'introduction de la culture pour l'exploitation et performances à attendre ; incertitudes et points de difficulté ; connaissances génériques sur la manière de démarrer une nouvelle culture	> Essai d'œillette en suivant un « itinéraire type » > Test de pois-chiche en collaboration avec un voisin
2. Amélioration de l'application d'une technique	29	Ajustement des pratiques pour améliorer les performances ou résoudre un problème : effet des pratiques ; diagnostic des problèmes et des leviers de résolution ; paramètres à prendre en compte pour ajuster les pratiques ; modalités d'évaluation des pratiques.	> Réduction des doses d'intrants pour améliorer la marge brute du lin > Comparaison de différentes vitesses de binage du chanvre
3. Test d'une nouvelle pratique	16	Test d'une pratique jamais appliquée à la culture, pour améliorer les performances ou résoudre un problème : effets des pratiques et importance dans l'atteinte des critères de performance ; conditions dans lesquelles la mise en œuvre de la pratique est pertinente ; modalités d'évaluation des pratiques et des performances ; impact des pratiques sur le fonctionnement de l'exploitation	> Apport d'irrigation sur la culture de soja, habituellement conduite en sec > Essai de préparation du semis de lentille-camelina en travail du sol simplifié
4. Réorganisation des ressources productives	14	Réorganisation des ressources productives mobilisées pour la production et la vente des cultures de diversification, suite à de nouveaux besoins ou problèmes : matériel adapté et moyens de l'acquérir ; impact de la réorganisation des ressources productives sur les systèmes de culture et l'exploitation ; maîtrise du matériel	> Après plusieurs échecs, nouvel assolement pour éviter d'implanter du chanvre sur les îlots argileux > Construction d'un décortiqueur de grains pour le chanvre
5. Organisation du travail et des chantiers	10	Organisation du travail et des chantiers liés à la diversification des cultures : caractéristiques des chantiers et conditions pour qu'ils se déroulent bien ; enchaînement des interventions, niveau de flexibilité ; arbitrage entre chantiers, niveaux de priorité et ajustements possibles	> Planification des récoltes de septembre en fonction du temps de séchage > Arrêt des haricots car la surcharge de travail printanier ne permet plus de semer dans de bonnes conditions
6. Gestion du réseau professionnel	10	Veille, construction ou mobilisation de réseaux professionnels autour des cultures de diversification : repérage de personnes ressources ; identification d'opportunités de diversification ; marchés et débouchés existants	> Veille active sur la sélection variétale de chanvre alimentaire
7. Gestion des débouchés et de la commercialisation	14	Gestion de la commercialisation des cultures de diversification : marchés, prix, variations et évolutions possibles ; organisation et impacts sur l'exploitation ; capacité à respecter un cahier des charges ; adéquation des modes de commercialisation aux objectifs et contraintes de l'exploitation	> Dans le magasin à la ferme, les pommes de terre deviennent un « produit d'appel » > Essai de vente à terme du lin et du chanvre

3.1.1 Situation d'apprentissage : Introduction d'une culture de diversification

Les situations d'apprentissage associées à l'introduction d'une culture de diversification sont les plus fréquentes dans les trajectoires de diversification étudiées : elles correspondent à 50 des 143 processus d'apprentissage que nous avons caractérisés (35%). Elles portent sur des périodes de durée très variable, puisqu'elles incluent (i) le moment où se construit l'idée pour l'agriculteur d'introduire une nouvelle culture ; (ii) la recherche d'informations sur la culture par l'agriculteur ; (iii) l'expérimentation de cette culture sur la ferme ; (iv) toute la période pendant laquelle l'agriculteur considère qu'il est toujours en train de « tester » la culture et que son adoption dans le système de culture n'est pas encore validée ou invalidée. Il est difficile de déterminer précisément quand se termine cette situation d'apprentissage, car l'agriculteur peut considérer que la culture est encore en « période d'essai » pendant plusieurs années. D'autres situations d'apprentissage se jouent alors en parallèle de cette question du « test » de la culture.

Lorsqu'ils envisagent d'introduire une nouvelle culture, les agriculteurs identifient des personnes (conseillers, autres agriculteurs) ou des organisations (instituts techniques, chambres d'agriculture) qui pourront être des sources de savoirs sur la culture, ainsi que des sites internet fournissant des informations sur la culture. Plus largement, ils identifient dans leur environnement sociotechnique les ressources auxquelles ils pourront accéder pour un appui technique, matériel (par exemple, pour du matériel et de la main d'œuvre extérieure à travers des CUMA, ou d'autres agriculteurs), notamment s'ils rencontrent des difficultés dans la conduite de la culture.

Avant d'introduire une nouvelle culture, les agriculteurs identifient des « itinéraires techniques de référence »²² de la culture. Ils identifient aussi les paramètres de ces itinéraires techniques qui pourraient varier, pour être adaptés à leur contexte de production (par exemple, une liste de variétés adaptées au contexte local ; une gamme de densités de semis ou d'écartement des rangs ; une estimation des quantités d'eau d'irrigation nécessaires). En fonction de ces modalités de conduite, les agriculteurs évaluent les conséquences probables de l'introduction de la culture pour le fonctionnement de l'exploitation : matériel nécessaire, calendrier des interventions, contrainte pour l'organisation des activités sur la ferme. En parallèle, les agriculteurs recherchent des références sur les performances à attendre de la culture dans leur contexte de production (par exemple, en termes de rendement, de qualité, ou d'effets « précédent » de la culture), et tentent d'apprécier le niveau d'incertitude relatif à ces performances. A ces performances attendues correspondent des critères d'évaluation, et des conditions de réussite. Ainsi, l'agriculteur 1 introduit du soja dans son système de culture avec, entre autres, l'objectif d'apporter de l'azote aux cultures suivantes. Il estime, après une première année de culture, le résultat « assez décevant » de ce point de vue, par rapport aux références d'autres légumineuses comme la féverole, et recherche des informations qui confirment cette observation (processus d'apprentissage 1.9).

Durant la période d'introduction d'une nouvelle culture sont définies la surface qu'elle occupera et son évolution possible, ainsi que les modalités de conduite de la culture qui pourront évoluer si certains critères de performance ne sont pas atteints (par exemple, les dates de semis, les interventions de désherbage, le recours ou non à l'irrigation). Avant et après avoir

²² Des itinéraires techniques pour lesquels sont fournies des préconisations sur les pratiques à mettre en œuvre (modalités, valeurs moyennes, intervalles de valeurs), et des informations sur les particularités de l'espèce (sensibilité à différents problèmes sanitaires, aux stress environnementaux, ...)

introduit la nouvelle culture, les agriculteurs acquièrent des connaissances qui portent sur le niveau de difficulté dans la « maîtrise » de l'itinéraire technique ; ils se créent une première représentation de ce qui pourra constituer des points de difficulté (par exemple, la maîtrise de l'enherbement, les conditions de récolte et de séchage, les conditions d'implantation et de levée) et son traitement post-récolte, ou au contraire de ce qui ne devrait pas poser de difficulté.

En accumulant l'expérience de l'introduction de différentes cultures, les agriculteurs finissent par se doter de procédures plus génériques sur comment « démarrer » une nouvelle culture, qui concernent notamment les surfaces minimales ou maximales qu'ils considèrent comme pertinentes pour tester une culture pour la première fois : « *Quand on y va sur une culture nouvelle, on en fait pas 10 hectares dans la foulée* » (A.1). Les agriculteurs déterminent aussi les éléments du système de culture auxquels ils estiment important de prêter attention, notamment en fonction des spécificités de l'exploitation, en termes de techniques de production, d'équipement ou d'organisation du travail. Ainsi l'agriculteur A.2, en agriculture biologique, souhaite s'assurer de maîtriser l'enherbement dans les parcelles des nouvelles cultures, « *Pour des cultures tests, je laboure pour que ça soit bien propre [...] pour bien préparer la parcelle, puis bien gérer la culture elle-même puis après on voit comment ça se passe [...] il faut bien observer et ne pas hésiter à sortir la herse étrille très très tôt* » ; pour l'agriculteur A.3, dont l'activité principale est l'élevage, l'introduction de nouvelles cultures doit nécessairement se faire en tenant compte de leurs impacts sur la production destinée à l'alimentation des animaux, sur la gestion des effluents d'élevage, et sur l'organisation du travail en lien avec les contraintes de l'élevage.

3.1.2 Situation d'apprentissage : Amélioration de l'application d'une technique

Les situations d'amélioration de l'application d'une technique correspondent à des moments où l'agriculteur :

- pense que l'une de ses pratiques n'est pas optimale au regard de certains de ses critères de performance (y compris des critères de performances issus de l'extérieur, comme la réponse à un cahier des charges),
- ou identifie des changements de pratiques susceptibles de résoudre un problème rencontré dans la conduite de son exploitation.

Tableau 13 : Description des connaissances acquises par les agriculteurs lors des situations d'apprentissage correspondant à l'amélioration de l'application d'une technique. PA : processus d'apprentissage. Processus d'apprentissage N.x = processus d'apprentissage n°x de l'agriculteur N

PA	Culture	Connaissances acquises
1.2	Chanvre	Quelles sont les « bonnes conditions » pour semer
1.6	Chanvre	Quelles modalités de séchage permettent de respecter le cahier des charges de l'acheteur
1.7	Chanvre	Densité de semis optimale
1.10	Soja	Réglages optimaux de la herse étrille
2.2	Sarrasin	Période de semis adaptée
2.6	Lentille-camelina	Densité de semis optimale
3.3	Lupin	Conséquences de différentes modalités d'association
3.8	Soja	Comment améliorer la gestion des adventices
3.9	Soja	Conséquences de différentes modalités d'association
4.2	Quinoa	Comment améliorer la gestion des adventices
4.12	Pomme de terre	Comment améliorer la préparation du sol

6.2	Lin	Solutions pour la gestion du ray-grass
7.3	Chanvre	Comment améliorer les conditions de levée
7.4	Chanvre	Quelles parcelles (types de sol) sont les plus adaptées à la culture
7.5	Chanvre	Comment optimiser la gestion des adventices
8.4	Lin	Comment optimiser l'utilisation d'herbicides
8.5	Lin	Comment améliorer la compétitivité face aux adventices
8.6	Lin	Comment optimiser la fertilisation azotée
8.9	Plusieurs	Solutions pour gérer les adventices résistantes
9.4	Plusieurs	Comment améliorer la préparation du sol
11.3	Oignon	Comment optimiser l'utilisation de fongicides
11.4	Oignon	Comment optimiser la fertilisation azotée
11.6	Quinoa	Constat de l'effet précédent
11.7	Quinoa	Comment optimiser la préparation du sol
12.3	Centaurée	Comment optimiser les modalités de récolte
13.2	Lentille	Constat de l'effet précédent
13.3	Lentille	Comment gérer les adventices
14.2	Lentille	A quelles dates semer
14.10	Pois chiche	A quelles dates semer

Les connaissances acquises dans ces situations portent (i) sur les effets des pratiques concernées, (ii) sur les paramètres à prendre en compte pour ajuster ces pratiques au contexte de production (spécificités de l'exploitation, contexte climatique, type de sol, précédent, etc.), et (iii) sur les modalités d'évaluation des pratiques.

Les connaissances relatives aux effets des pratiques viennent compléter celles qui avaient été acquises en relation avec l'introduction de la culture. L'agriculteur 11 identifie par exemple l'importance du semis pour la réussite de la culture de quinoa, et plus particulièrement l'importance de travailler le sol de manière appropriée pour atteindre une structure et une humidité satisfaisante, et de bien choisir la densité de semis : « *l'enjeu c'est le semis [...] il faut que la parcelle se ressuie bien pour ne pas prendre de risque, il faut être très très technique* » (Tableau 13, processus d'apprentissage 11.7). De la même manière, l'agriculteur 1 estime que si le chanvre est semé dans de bonnes conditions (c'est-à-dire pas trop tôt dans la saison, de manière à ce que la levée se fasse en moins de 8 jours), alors « *tout se passe bien jusqu'à la récolte* » : la culture se développe bien, le développement des adventices reste limité et l'agriculteur n'a pas besoin d'intervenir pour biner (Tableau 13, PA 1.2).

L'apprentissage passe aussi par le diagnostic des problèmes rencontrés sur la culture et des leviers de résolution de ces problèmes : c'est le cas de l'agriculteur 7, qui ajuste le choix des parcelles dans lesquelles il implante la culture de chanvre après avoir constaté des problèmes dans le développement de la culture : « *Dans les terres argileuses, je me souviens d'une année où le semis s'est bien déroulé, la levée était parfaite. Tout s'est bien passé jusqu'à début juillet où le chanvre était à ma hauteur et il s'est bloqué tout d'un coup. Je n'avais pas irrigué cette année-là, peut-être avec un peu d'irrigation ça aurait aidé, moi je pense que dessous le sol n'était pas bon et que du coup les racines n'ont pas réussi à bien s'implanter. Sans doute un excès d'eau ou le dessous trop dur, bon c'est un peu connu qu'en sol hydromorphe le chanvre n'aime pas ça. Ça a fait ça chez moi, ça a fait ça chez mes autres voisins qui ont les mêmes terres, à chaque fois qu'on met du chanvre dans ces terres-là, il a souvent du mal l'été à pousser, il ne trouve pas sa terre. (...) Comme en plus il pousse mal, les mauvaises herbes continuent de pousser, y'a pas assez d'ombrage. En plus on est sale, donc ça n'aide pas non plus à ce qu'il pousse bien alors c'est un cercle vicieux* » (Tableau 13, PA 7.4).

Les connaissances acquises concernent également l'ajustement des pratiques au contexte de production, par exemple le choix de la culture à planter sur une parcelle en fonction du salissement observé sur celle-ci (A.3) : « *ça m'est arrivé de faire trois ans de suite des cultures de printemps pour casser le cycle de la folle avoine, et ça marche très bien* ». En fonction du contexte, les agriculteurs ajustent les modalités des interventions (dates et/ou doses de semis, réglages du matériel...). Ils identifient les observations à réaliser et les paramètres à prendre en compte pour décider de ces modalités.

Enfin, les apprentissages concernent les modalités d'évaluation des pratiques : définir quels critères de performance sont importants ou non, arbitrer des compromis entre critères de performances... L'agriculteur 13 décrit ainsi la manière dont il évalue la gestion des adventices dans la culture de lentille : « *il faut faire attention à ne pas rater le glypho avant le semis [...] mais je n'ai jamais écarté de parcelles ; tous les ans c'est un peu sale mais c'est pas grave, c'est sale, c'est moche, mais pas de là à impacter le rendement* » (Tableau 13, PA 13.3). L'agriculteur évoque pour la culture de chanvre un compromis à faire entre rendement en paille, rendement en graines et facilité de récolte, en indiquant que « *la difficulté c'est de combiner la hauteur de paille [pour faciliter la récolte] et la quantité de graine. Ici il ne faut pas des grosses tiges [...] plus on augmente la densité, plus on a une tige fine et une faible hauteur [...] comme la semence coute très cher, on essaye de réduire la densité de semis en gardant la même qualité et rendement* » (Tableau 13, PA 1.7).

3.1.3 Situation d'apprentissage : Test d'une nouvelle pratique

Ces situations d'apprentissage correspondent à des moments où l'agriculteur identifie et teste une nouvelle pratique dont il pense qu'elle pourrait améliorer les performances de son système de culture. Ce test peut viser à résoudre un problème précis, par exemple l'application d'un fongicide pour résoudre un problème de verse de la lentille en conditions humides (Tableau 14, processus d'apprentissage 14.3), ou être réalisé « pour voir » ce que donne une nouvelle pratique, par exemple l'irrigation du soja par rapport à un soja cultivé en sec (Tableau 14, PA 4.8). La nouvelle pratique testée consiste parfois à supprimer une intervention, comme le labour (Tableau 14, PA 2.5).

Tableau 14 : Description des connaissances acquises par les agriculteurs lors des situations d'apprentissage correspondant au test d'une nouvelle pratique. PA : processus d'apprentissage. Processus d'apprentissage N.x = processus d'apprentissage n°x de l'agriculteur N

PA	Culture	Connaissances acquises
1.3	Chanvre	Intérêt du binage
1.11	Soja	Hauteur de la première gousse pour différentes variétés
1.15	Lupin	Intérêt de l'association avec l'orge
2.5	Lentille-cameline	Faisabilité d'une culture sans labour
2.7	Lentille-cameline	Efficacité de nouvelles pratiques de gestion post-récolte sur les problèmes de bruches
3.6	Cameline	Effet de la houe rotative sur l'enherbement
4.8	Soja	Intérêt de l'irrigation
6.3	Lin	Effets d'un nouveau semoir avec un écartement inter-rang différent
8.2	Triticale	Efficacité de la culture après un blé pour réduire le piétin
8.7	Lin	Effets d'un inoculum pour la mycorhization
9.2	Tournesol	Efficacité d'un semis sous bâche pour décaler le cycle de la culture
13.5	Lentille	Efficacité de nouvelles modalités de récolte pour réduire les pertes
14.3	Lentille	Efficacité de l'application de fongicide pour résoudre des problèmes de verse

15.6	Oignon	Intérêt de l'irrigation
15.7	Sauge	Effets d'une nouvelle technique de séchage
16.10	Plusieurs	Efficacité de rotations plus courtes pour mieux gérer le salissement des prairies

Les apprentissages portent, de manière similaire à la situation *Améliorer l'application d'une technique*, (i) sur les effets de la nouvelle pratique sur la production, (ii) sur son importance pour l'atteinte de différents critères de performances, (iii) sur l'évaluation de ces performances, et (iv) sur les conditions dans lesquelles la mise en œuvre de la pratique est pertinente, avec quelles modalités. L'agriculteur A.1 conclut ainsi qu'il n'est pas utile de biner la culture du chanvre car cela « *n'apporte pas de réels avantages, à part améliorer un peu la réserve utile et donc potentiellement la présence d'eau en été, mais en réalité y a pas de différence* » (Tableau 14, PA 1.3). Les connaissances acquises portent également sur les effets que l'application de la nouvelle pratique aura sur le fonctionnement de l'exploitation, par exemple en termes d'organisation du travail, d'utilisation d'intrants, de matériel nécessaire. L'agriculteur A.2, qui rencontre des problèmes de salissement en fin de cycle dans la culture de féverole destinée à un débouché en alimentation animale, envisage par exemple d'associer du triticale à la féverole, pour améliorer la compétitivité vis-à-vis des adventices, en estimant qu'après un tri à la ferme la pratique du mélange d'espèces ne posera pas de problème pour la commercialisation.

3.1.4 Situation d'apprentissage : Réorganisation des ressources productives

Ces situations d'apprentissages correspondent à des réorganisations des ressources mobilisées pour la production et la vente des cultures de diversification : il s'agit dans plus de la moitié des cas (Tableau 15, PA 1.4, 2.12, 4.11, 7.7, 14.5, 15.4, 16.1, 16.2) de la mobilisation de nouvelles ressources, mais la réorganisation peut aussi concerner des ressources existantes et les usages qui en sont faits (Tableau 15, PA 1.12, 2.3, 4.4, 7.6, 11.8, 16.5). Ces réorganisations font suite à de nouveaux besoins, comme du matériel spécifique à la culture de la pomme de terre (Tableau 15, PA 4.11) ou à de nouveaux problèmes, par exemple l'impossibilité de presser l'huile de tournesol via la Cuma qui le faisait habituellement (Tableau 15, PA 16.1). Les ressources dont il est question sont le plus souvent du matériel agricole ou de transformation, mais il s'agit aussi parfois de l'organisation des parcelles et de l'assolement (Tableau 15, PA 2.3, 7.6, 11.8).

Tableau 15 : Description des connaissances acquises par les agriculteurs lors des situations d'apprentissage correspondant à une réorganisation des ressources productives. PA : processus d'apprentissage. Processus d'apprentissage N.x = processus d'apprentissage n°x de l'agriculteur N

PA	Culture	Connaissances acquises
1.4	Chanvre	Quel matériel pour récolter dans de bonnes conditions
1.12	Soja	Maîtrise de la conduite « délicate » de la moissonneuse à la récolte
2.3	Plusieurs	Comment définir les surfaces cultivées en fonction des volumes adaptés pour le stockage et la livraison
2.12	Plusieurs	Intérêt de s'équiper d'un trieur alvéolaire pour améliorer la qualité de la production
4.4	Quinoa	Modalités d'organisation des opérations post-récolte en lien avec la commercialisation via un groupement d'agriculteurs et conséquences sur les couts de production
4.11	Pomme de terre	Quel matériel adapté pour la récolte et le stockage, et possibilité d'accéder à du matériel spécialisé en partenariat avec un maraicher

7.6	Chanvre	Quelle surface de production pour un compromis entre le volume de production et la maîtrise technique
7.7	Chanvre	Intérêt de l'achat d'une nouvelle remorque pour réduire les pertes post-récolte
11.8	Quinoa	Intérêt de l'exclusion des parcelles à fort stock d'adventices de la sole
14.5	Lentille	Intérêt d'un nouveau matériel de récolte
15.4	Plusieurs	Caractéristiques pour la construction d'un nouveau séchoir fonctionnel et permettant un gros débit
16.1	Plusieurs	Intérêt d'acheter une presse à huile plutôt que de presser en Cuma
16.2	Plusieurs	Intérêt de s'équiper d'un trieur pour améliorer la conservation de la récolte
16.5	Plusieurs	Modalités d'associations de cultures adaptées aux possibilités de tri

Les connaissances acquises par les agriculteurs enquêtés dans les situations de réorganisation des ressources productives portent sur l'identification du matériel adapté aux attentes de l'agriculteur, et sur les différentes possibilités pour acquérir celui-ci (investissement individuel, collectif, matériel neuf ou d'occasion, etc.) : l'agriculteur 1 change ainsi de matériel de récolte du chanvre après avoir essayé de le moissonner avec une moissonneuse conventionnelle : « *on galérait, il y avait des bourrages, on peut exploser une machine avec ça... et la coupe ne levait pas très haut [...] on a vite acheté une moissonneuse axiale [...] ce n'était pas que pour le chanvre, mais c'était mieux* » (Tableau 15, PA 1.4). L'agriculteur 2 s'équipe de trieurs (d'abord à plat, puis alvéolaire) afin d'accéder à une prime proposée par sa coopérative pour le tri des récoltes (Tableau 15, PA 2.12). L'agriculteur 7 décide d'acheter une nouvelle remorque pour le transport des graines de chanvre (semences) jusqu'au séchoir de la coopérative en limitant les pertes qu'il a constaté lorsque les remorques « *ont du jeu* » (Tableau 15, PA 7.7). L'agriculteur 4 décide, lui, de ne pas investir dans du matériel en propre pour la culture de pomme de terre : « *on a un partenariat avec un maraîcher bio [...] il a souvent de la demande, il a des sols qui s'épuisent un peu donc on arrive à trouver un partenariat avec lui, il nous stocke les pommes de terre après récolte dans des frigos [...] lui il a des terres plus précoces donc il fait souvent plus tôt que chez nous donc finalement son matériel est disponible* » (Tableau 15, PA 4.11).

Les connaissances acquises concernent également l'impact de la réorganisation des ressources productives pour le fonctionnement du système de culture et de l'exploitation : l'agriculteur 16, après avoir acheté un trieur pour améliorer la conservation de ses récoltes qui contenaient une part importante de « *vert* » (Tableau 15, PA 16.2), décide de simplifier les mélanges d'espèces qu'il cultivait pour l'alimentation de ses volailles, pour pouvoir les trier et mieux maîtriser la composition de ses rations, ce qui lui permettra par la suite de cultiver des associations de cultures destinées à l'alimentation humaine (Tableau 15, PA 16.5). L'agriculteur 2, qui souhaite vendre ses productions à une coopérative spécialisée dans l'agriculture biologique, doit organiser le stockage et la livraison de ses productions : comme il se trouve loin de la coopérative, il bénéficie d'une prime pour le stockage à la ferme et doit supporter un malus si les camions de livraison sont peu remplis. Il construit alors un bâtiment avec plusieurs cellules de stockage, et réorganise son assolement, en fonction des rendements attendus, de manière à ce que les volumes produits lui permettent de remplir des semi-remorques, ou des big bag (qu'il estime correspondre à 10 tonnes de pois ou lentille) pour les petits volumes de production (Tableau 15, PA 2.3). L'agriculteur 4 est, quant à lui, « *forcé* » de réorganiser le stockage et le tri de la culture de quinoa lorsque la commercialisation organisée via un groupement de producteurs ne lui permet pas d'écouler toute sa production de l'année, puis lorsque le groupement décide de s'équiper d'une laveuse pour la culture. Il estime finalement que les opérations de tri, de séchage et de stockage engendrées par cette organisation sont trop coûteuses et imprévisibles, ce qui met en danger sa trésorerie, et décide

en 2018 d'arrêter la culture (Tableau 15, PA 4.4). Dans une même logique de réflexion sur les couts et les marges, l'agriculteur 7 explique comment il décide de la surface de production de chanvre semence dans un contexte où la demande varie souvent : « *il faut prendre ce que tu es capable de bien produire parce que si tu fais un demi rendement tu manges de l'argent [...] cette année c'est open bar [sur les contrats] mais moi je me limite à 13 ha. C'est compliqué à produire, à désherber, à biner, c'est chaud un peu donc je préfère en faire un peu mais bien* » (Tableau 15, PA 7.6).

3.1.5 Situation d'apprentissage : Organisation du travail et des chantiers

Ces situations d'apprentissage correspondent à des réorganisations du travail et des chantiers liés à la diversification des cultures : chantiers d'une nouvelle culture (Tableau 16, PA 2.9, 4.6, 5.2), opérations post-récolte (Tableau 16, PA 1.5, 3.2, 5.3), chantiers communs à différentes cultures (Tableau 16, PA 1.13, 4.13), organisation du travail dans le cadre d'un collectif d'agriculteurs partageant des équipements (Tableau 16, PA 11.2, 15.3).

Tableau 16 : Description des connaissances acquises par les agriculteurs lors des situations d'apprentissage correspondant à l'organisation du travail et des chantiers. PA : processus d'apprentissage. Processus d'apprentissage N.x = processus d'apprentissage n°x de l'agriculteur N

PA	Culture	Connaissances acquises
1.5	Chanvre	Comment organiser l'enchaînement entre le battage et le séchage
1.13	Plusieurs	Comment des chantiers de tri et de séchage en septembre
2.9	Seigle-lentillon	Comment gérer la récolte d'une association avec une culture sensible à la verse
3.2	Lupin	Comment gérer le séchage d'une culture « salissante »
4.6	Haricot	Comment gérer les dates de semis et leurs conséquences sur le cycle de la culture
4.13	Plusieurs	Comment organiser les récoltes des cultures de printemps
5.2	Chanvre	Comment organisation le chantier de récolte
5.3	Chanvre	Comment organiser le tri, séchage et décorticage pour la transformation
11.2	Oignon	Comment organiser l'achat collectif d'une planteuse, d'une récolteuse et d'un séchoir
15.3	Oignon	Maitrise de la mécanisation progressive des interventions en lien avec des achats collectifs

Les connaissances acquises portent sur les caractéristiques des chantiers et les conditions pour qu'ils se déroulent bien, en particulier si l'agriculteur estime nécessaire de faire appel à des ressources extérieures : « *la première année, il y avait beaucoup de chénopodes [dans la récolte de lupin], donc il a fallu faire sécher sur des tôles, mais les graines de lupin ont réabsorbé l'humidité des chénopodes et ça a moisi* » (Tableau 16, PA 3.2) ; « *ce qui est compliqué après [avec le chanvre] c'est la récolte, il faut un entrepreneur qui puisse venir récolter les graines* » (Tableau 16, PA 5.2). Le processus d'apprentissage se poursuit souvent sur plusieurs années : l'agriculteur 15 commence par faire faire toutes les interventions de sa culture d'oignon (plantation, récolte, séchage, brassage) par des saisonniers. Suite à une année où la relation avec les saisonniers s'est mal passée, il décide de mécaniser ses opérations en prenant des parts dans une Cuma comptant déjà des agriculteurs qui cultivaient de l'oignon avec une planteuse et une ramasseuse. La Cuma s'équipe progressivement de nouveau matériel pour correspondre aux besoins du collectif (Tableau 16, PA 15.3).

Des connaissances sont également produites sur l'enchaînement des interventions dans le temps, et sur le niveau de flexibilité pour cette organisation : « *depuis 3 ans, plus ça allait, plus*

on semait tard [pour être dans de bonnes conditions de sol, température, pluviométrie] donc tu perds un jour au semis, tu en perds 3 à la récolte. [...] On a semé tard puis il s'est mis à pleuvoir et on n'a pas pu récolter ! » (Tableau 16, PA 4.6) ; « le chènevis c'est très technique, il y a 5 heures entre le battage et le début du séchage, ça veut dire qu'il faut être autonome en matériel, en séchage [...] on organise le battage en fonction de la capacité du séchoir, on peut passer 5 à 6 hectares par jour dans le séchoir, donc pour 20 hectares de chanvre il faut une fenêtre de 4 jours. » (Tableau 16, PA 1.5).

Enfin, l'arbitrage des chantiers entre différentes cultures qui nécessitent des interventions sur une même période implique l'acquisition de connaissances autour des priorités à accorder à chaque culture, comme l'illustre l'exemple de l'organisation des chantiers de récolte en fin d'été par l'agriculteur 1 : « l'inconvénient c'est que [la récolte du chanvre] se tamponne avec la récolte de soja et de tournesol. [...] plus on a de cultures, plus on divise les risques [...] mais plus on a de travail. [...] en cas de mauvaises conditions c'est la galère, pour la récolte mais surtout pour le séchage [...] on récolte le soja avant le chanvre pour libérer la moissonneuse et parce que les besoins de séchage sont moins importants » (Tableau 16, PA 1.13).

3.1.6 Situation d'apprentissage : Gestion du réseau professionnel

Ces situations d'apprentissage correspondent à des activités de veille, de construction ou de mobilisation d'un réseau professionnel autour des cultures de diversification. Ces activités portent sur les cultures de diversification déjà présentes sur l'exploitation (Tableau 17, PA 1.8, 1.18, 1.19, 3.4, 3.10, 8.8, 11.11) ou sont liées à la recherche de nouvelles cultures ou opportunités de commercialisation (Tableau 17, PA 7.1, 8.11, 15.2).

Tableau 17 : Description des connaissances acquises par les agriculteurs lors des situations d'apprentissage correspondant à la gestion du réseau professionnel. PA : processus d'apprentissage. Processus d'apprentissage N.x = processus d'apprentissage n°x de l'agriculteur N

Apprentissage	Culture	Connaissances acquises
1.8	Chanvre	Quels sont les débouchés et l'évolution des filières
1.18	Soja	Actualités de la sélection variétale
1.19	Chanvre	Actualités de la sélection variétale
3.4	Plusieurs	Comment gérer les relations avec l'huilerie
3.10	Soja	Comment gérer les relations avec différents prestataires pour des essais de toastage
7.1	Chanvre	Possibilités d'intégrer le groupe des producteurs de semences
8.8	Plusieurs	Quelles sources de conseil sont pertinentes
8.11	Chanvre	Identification de nouveaux acheteurs
11.11	Plusieurs	Quels entrepreneurs pour réaliser différents chantiers
15.2	Plusieurs	Possibilités de nouveaux débouchés et contrats

Pour les cultures déjà présentes sur l'exploitation, les apprentissages portent sur le repérage des personnes ressources quant aux savoirs techniques et scientifiques disponibles sur la culture : « j'identifie le matériel et le savoir-faire des gars [entrepreneurs de travaux agricoles], qui doit être adapté à ce que je fais et à mes sols » (Tableau 17, PA 11.11) ; l'agriculteur 1 effectue une veille sur la sélection variétale du soja, et confronte les savoirs disponibles à l'expérience sur sa ferme des paramètres de développement de la culture importants à surveiller : hauteur de la première gousse, décalage des cycles de développement au sein d'une même classe de précocité 00 ou 000 (Tableau 17, PA 1.18).

La gestion du réseau professionnel peut aussi amener l'agriculteur à considérer de nouvelles opportunités de diversification qu'il n'avait pas anticipées, comme l'agriculteur 8 qui intègre de nouveaux groupes de développement. Les discussions au sein de ces groupes l'amènent à revoir ses pratiques de commercialisation (Tableau 17, PA 8.8 puis 8.11), ou l'agriculteur 3 qui fait appel à une huilerie pour presser sa récolte de colza et en récupérer les tourteaux pour l'alimentation de ses animaux, et qui va être amené à tester la culture de cameline en partenariat avec cette huilerie (Tableau 17, PA 3.4).

Enfin, ces situations conduisent les agriculteurs à acquérir des connaissances sur les marchés et les débouchés de cultures de diversification, comme l'agriculteur 7 qui identifie, avec une « *part de feeling* » que la production de chanvre semence serait intéressante pour lui, et qui démarche plusieurs années de suite le groupe d'agriculteurs multiplicateurs jusqu'à réussir à obtenir des contrats de production (Tableau 17, PA 7.1), ou l'agriculteur 15 qui affirme « *tous les hivers, je passe à peu près 2 semaines au téléphone pour trouver d'autres choses à faire que ce que je fais déjà [...] j'ai toujours aimé avoir au moins une nouvelle plante par an* ».

3.1.7 Situation d'apprentissage : Gestion des débouchés et de la commercialisation

Ces situations d'apprentissage correspondent à des moments où les agriculteurs font évoluer les méthodes de commercialisation de leurs cultures de diversification : ils recherchent et interagissent avec des acheteurs, et font évoluer leurs pratiques suite à ces interactions.

Tableau 18 : Description des connaissances acquises par les agriculteurs lors des situations d'apprentissage correspondant à la gestion des débouchés et de la commercialisation. PA : processus d'apprentissage. Processus d'apprentissage N.x = processus d'apprentissage n°x de l'agriculteur N

Apprentissage	Culture	Connaissances acquises
1.16	Lupin	Possibilités de vente à différents acteurs, évolution des prix
1.17	Soja	Débouchés possibles et capacité à respecter le cahier des charges
4.3	Quinoa	Comment gérer collectivement la commercialisation par un groupement de producteurs
4.10	Pomme de terre	Comment intégrer la culture à la stratégie de vente directe
5.4	Chanvre	Comment organiser la commercialisation de l'huile et de la paille
6.5	Lentille	Débouchés possibles et contraintes associées
6.7	Sarrasin	Comment gérer le stockage et la commercialisation
8.10	Lin	Possibilités de vendre par appel d'offres
11.9	Plusieurs	Intérêt de différentes cultures possibles sous contrat avec des semenciers
14.4	Lentille	Intérêt de changer d'acheteur
14.7	Lentille	Arrêt des contrats
14.8	Plusieurs	Débouchés possibles pour des légumineuses
16.4	Tournesol	Comment commercialiser l'huile de tournesol
16.7	Plusieurs	Diversifier les produits pour s'adapter à la clientèle

Les connaissances acquises dans les situations de gestion des débouchés et de la commercialisation portent sur les marchés et les prix des produits de la diversification, leurs variations interannuelles, et leurs évolutions possibles. L'agriculteur 1 commercialise ainsi le lupin, entre 2014 et 2016, auprès de différents acheteurs (coopérative après la récolte, coopérative avec contrat avant le semis, éleveur), avec des prix qui évoluent d'une année sur l'autre et qu'il met en regard des contraintes que la culture pose pour le fonctionnement de l'exploitation (Tableau 18, PA 1.16). L'agriculteur 14, suite à l'arrêt des contrats qu'il avait avec

une coopérative pour la vente de la lentille, se renseigne auprès de son réseau professionnel sur les débouchés possibles pour cette culture ou pour d'autres légumineuses (Tableau 18, PA 14.8).

Les agriculteurs évaluent aussi leur capacité à respecter les cahiers des charges imposés par différents acheteurs, et l'adéquation de ces cahiers des charges à leurs objectifs et aux contraintes de l'exploitation. L'agriculteur 6, qui commercialise la lentille sous contrat auprès d'une coopérative, avec des surfaces contractualisées assez variables d'une année sur l'autre, réfléchit ainsi à la possibilité de changer d'acheteur pour stabiliser les surfaces de la culture et avoir davantage de marges de manœuvre sur la conduite de la culture : « *c'est possible, mais c'est plus de temps, parce qu'il faut trier, séparer, stocker... maintenant, demain on pourrait en faire (...) on espère trouver des petits marchés qui permettent de valoriser cette production pour diversifier plus les cultures* » (Tableau 18, PA 6.5). L'agriculteur 1 vendait du soja à un éleveur qui ne souhaite plus en acheter car il a constitué des stocks. Il prend contact avec un transformateur intéressé par l'achat de soja à destination alimentaire, et se renseigne auprès de son réseau sur la possibilité de remplir le cahier des charges du soja pour l'alimentation humaine : « *en discutant avec les responsables [l'industriel et un ingénieur d'institut technique], personne n'arrive à comprendre pourquoi, mais le soja [dans la zone de production] est mou, la graine est molle. [Le transformateur] ne voulait pas de soja mou pour des raisons de process, c'est ce qui a freiné le débouché* » (Tableau 18, PA 1.17).

L'adéquation des modes de commercialisation aux objectifs et aux contraintes de l'exploitation est un élément clé des apprentissages autour de la gestion des débouchés, qui détermine le plus souvent la pérennité de la culture de diversification sur l'exploitation. C'est le cas par exemple de la pomme de terre cultivée par l'agriculteur 4, qui représente des charges et un temps de travail important pour l'exploitation, mais se révèle clé dans la stratégie de vente directe : « *dès qu'elles sont mures, on propose aux gens des sacs de 5kg à 7€, alors les gens ont vite compris [que c'était attractif par rapport au prix des magasins bio]. C'est un produit d'appel, avec les œufs, derrière ça nous permet de vendre de la viande, donc c'est un tout !* » (Tableau 18, PA 4.10). De la même manière, l'agriculteur 6 continue à cultiver du sarrasin malgré des incertitudes importantes sur les débouchés et la demande : « *comme on est équipés pour le séchage et le stockage, ça nous permet d'en faire, puis d'attendre pour le vendre à un bon prix, mais ça se fait aussi parce que c'est des petites surfaces (...) il n'y avait pas trop de demande, mais on a tenté le coup et on a réussi à vendre le produit* » (Tableau 18, PA 6.7). Le sarrasin ayant aussi un rôle de couvert d'été, « *si ça le fait, on récolte quelque chose, et sinon ça fait un couvert végétal et point barre, c'est que du bonus* ».

3.2 Trois styles d'apprentissages associés aux trajectoires de diversification

143 processus d'apprentissage ont été décrits par les agriculteurs au cours des entretiens. On détaille ci-dessous la grille de caractérisation à laquelle a abouti l'analyse inductive de ces processus d'apprentissage. Dans un second temps, nous présentons trois styles d'apprentissage, c'est-à-dire trois groupes de processus d'apprentissage correspondant à des combinaisons particulières des modalités de la grille d'analyse, et nous relierons ces styles d'apprentissage aux situations d'apprentissage décrites ci-dessus.

3.2.1 Grille de caractérisation des processus d'apprentissage des agriculteurs qui diversifient leurs cultures

D'abord construite à partir d'une synthèse de travaux sur les apprentissages des agriculteurs (Figure 13), la grille d'analyse des processus d'apprentissage a été adaptée au fil des entretiens afin que les variables de caractérisation des processus d'apprentissage et les modalités de ces variables correspondent à ce que les agriculteurs décrivent dans le cadre de leurs trajectoires de diversification des cultures (voir §2.4.2, chapitre 3). On aboutit à 16 variables qualitatives qui nous permettent de caractériser les situations de mise en alerte, de mise en œuvre et d'évaluation dans lesquelles sont impliqués les agriculteurs au cours de leurs trajectoires de diversification. Ces variables et leurs modalités sont présentées dans le Tableau 19 ci-dessous.

La *mise en alerte* de l'agriculteur est caractérisée par 6 variables (Tableau 19.1) : l'effet du contexte politique et économique, l'objectif de l'agriculteur, le degré de nouveauté (pour l'agriculteur ou pour l'exploitation agricole), le type de changement attendu (ajustement, remaniement ou rupture avec l'existant), les interactions avec autrui, et les autres sources d'information mobilisées.

La *mise en œuvre* est caractérisée par 6 variables (Tableau 19.2) qui portent sur la modalité de test, le degré d'intentionnalité du test, la surface engagée au regard de l'assolement global, la nature des informations relevées, la forme des informations relevées, les interactions avec autrui.

L'*évaluation* est caractérisée par 4 variables (Tableau 19.3) : les critères d'évaluation de l'agriculteur, la modalité de discussion des résultats, le référentiel d'évaluation externe mobilisé, et les conséquences sur la pérennité de la culture dans l'exploitation.

Certaines de ces variables reviennent dans les phases de mise en alerte, de mise en œuvre et d'évaluation, ce qui nous permet de comparer les modalités qu'elles adoptent d'une phase à l'autre : il s'agit (i) des variables qui relèvent des interactions sociales de l'agriculteur au cours de son processus d'apprentissage : Tableau 19.1. *Interactions avec autrui*, 2. *Interactions avec autrui* et 3. *Référentiel d'évaluation externe mobilisé* ; et (ii) des variables qui concernent les objets d'attention de l'agriculteur au cours de l'apprentissage : Tableau 19.1. *Objectif de l'agriculteur*, 2. *Nature des informations relevées*, 3. *Critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur*.

Tableau 19 : Grille d'analyse des processus d'apprentissage associés à la diversification des cultures

Variables	Modalités
1. Mise en alerte	
<i>Effet du contexte politique et économique</i>	1. Contexte régional : proposition d'un opérateur, développement d'une filière, programmes initiés par un organisme de développement, politique régionale 2. Contexte global : politique agricole et environnementale nationale ou européenne, évolution des marchés 3. Non explicité
<i>Objectif de l'agriculteur</i>	1. Améliorer un résultat de la culture de diversification : rendement, qualité 2. Résoudre un problème agronomique à l'échelle du système de culture , optimiser l'état du milieu ou évaluer l'intérêt agronomique d'une nouvelle culture 3. Résoudre une problématique organisationnelle, liée à la qualité de l'activité, ou liée à la transformation ou la vente des productions 4. Améliorer un résultat économique : réduction de charges, amélioration ou maintien du revenu...
	1. Pratique similaire à une autre que l'agriculteur a l'habitude d'appliquer 2. Nouvelle pratique mais selon un raisonnement que l'agriculteur maîtrise déjà

<i>Degré de nouveauté pour l'agriculteur ou l'exploitation agricole</i>	3. Nouvelle pratique et nouveau raisonnement
<i>Type de changement attendu</i>	<p>1. Ajustement : les impacts attendus relèvent d'un seul ordre et niveau d'échelle*</p> <p>2. Remaniement : des effets systémiques sont attendus, des évolutions sont attendues sur au moins deux niveaux d'échelle et/ou deux ordres différents</p> <p>3. Rupture avec l'existant : les effets attendus concernent la cohésion générale de l'exploitation, voire ses interactions avec son environnement socio-économique</p>
<i>Interactions avec autrui</i>	<p>1. Aucune : personne n'est intervenu au cours de cette phase</p> <p>2. Pair : un autre agriculteur avec qui la proximité peut être géographique, familiale, amicale ou professionnelle</p> <p>3. Conseiller : un conseiller technique et/ou commercial est intervenu</p> <p>4. Groupe de développement agricole entre agriculteurs, soutenu ou non par un animateur</p>
<i>Autres sources d'informations mobilisées</i>	<p>1. Aucune</p> <p>2. Bibliographie professionnelle : revue techniques, bulletins d'informations, presse locale, internet</p> <p>3. Expérience professionnelle : la mise en alerte se fait par analogies à des expériences qui ont valeurs de références pour l'agriculteur</p>
2. Mise en œuvre	
<i>Modalité de test</i>	<p>1. Comparaison de différentes modalités, sur une année climatique : sur une même parcelle ou sur deux parcelles différentes</p> <p>2. Comparaison des observations à une référence interne (expérience des années précédentes)</p> <p>3. Comparaison des observations à une référence externe (résultats locaux, parcelles des voisins, critères d'un cahier des charges)</p> <p>4. Vérification d'un processus</p> <p>5. Cumul d'expérience au fil des années</p> <p>6. Veille : proactivité de la recherche d'information du un sujet précis avec de multiples sources d'informations</p> <p>7. Transposition de pratique d'une culture à une autre</p>
<i>Degré d'intentionnalité du test</i>	<p>1. Planifié : l'agriculteur met en place une nouvelle pratique ou un test avec un haut degré d'intentionnalité dans la mise en place</p> <p>2. Opportuniste : l'agriculteur profite d'une évolution du contexte sociotechnique ou climatique pour tester une pratique à laquelle il avait déjà réfléchi</p> <p>3. Fortuit : la situation se produit indépendamment de la volonté de l'agriculteur, par exemple suite à des aléas techniques</p>
<i>Surface engagée au regard de l'assolement global</i>	<p>1. "Bout de parcelle" : la surface est économiquement négligeable</p> <p>2. Une partie des surfaces de la culture concernée ou, si introduction, surface économiquement significative mais qui pourrait être amenée à augmenter dans les années à venir</p> <p>3. Toute la surface de la culture concernée ou, si introduction, surface équivalente à une culture principale de l'EA et proche de la surface maximale allouée dans les années à venir à cette culture de diversification</p>
<i>Nature des informations relevées</i>	<p>1. Agronomique à l'échelle de la culture</p> <p>2. Agronomique à l'échelle du système de culture</p> <p>3. Organisationnelle</p> <p>4. Economique</p> <p>5. Non explicité</p>
<i>Forme des informations relevées</i>	<p>1. Formelles quantitatives</p> <p>2. Formelles qualitatives</p> <p>3. Informelles : les informations sont observées et gardées en mémoire mais elles ne sont pas collectées de façon à être conservées ou partagées</p> <p>4. Non explicité</p>
	1. Aucune : personne n'est intervenu au cours de cette phase

<i>Interactions avec autrui</i>	<p>2. Pair : un autre agriculteur avec qui la proximité peut être géographique, familiale, amicale ou professionnelle</p> <p>3. Conseiller : un conseiller technique et/ou commercial est intervenu</p> <p>4. Groupe de développement agricole entre agriculteurs, soutenu ou non par un animateur</p>
3. Evaluation	
<i>Critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur pour décider</i>	<p>1. Paramètre du résultat de la culture : rendement, qualité</p> <p>2. Paramètre agronomique à l'échelle du système de culture ou concernant l'état du milieu</p> <p>3. Paramètre organisationnel, lié à la qualité de l'activité, ou lié à la transformation ou la vente des productions</p> <p>4. Paramètre économique</p>
<i>Modalité de discussion des résultats</i>	<p>1. Interprétation à l'aide d'hypothèses ou processus agronomiques, économiques (scientifiquement établis ou non)</p> <p>2. Difficultés techniques inattendues et alternatives envisagées</p> <p>3. La corrélation entre les modalités testées et d'autres facteurs est discutée pour comprendre les effets observés</p> <p>4. Les effets observés sont attribués aux conditions de culture</p> <p>5. Pas de discussion des résultats</p>
<i>Référentiel d'évaluation externe mobilisé</i>	<p>1. Aucun</p> <p>2. Pair (voisin, personne au statut d'expert, ...)</p> <p>3. Institutionnel (CA, Instituts techniques, Coopératives, Négoces, ...)</p> <p>4. Groupe (CIVAM, APAD, GAB, GEDA, ...)</p> <p>5. Seul un référentiel interne est utilisé (expérience, analogie avec une autre pratique...)</p>
<i>Conséquences sur la pérennité de la culture dans l'exploitation</i>	<p>1. Arrêt de la culture</p> <p>2. Neutre : pas d'effet sur la pérennité de la culture ou sur une évolution de ses surfaces</p> <p>3. Baisse des surfaces allouées à la culture</p> <p>4. Hausse des surfaces allouées à la culture</p>

* On distingue 4 niveaux d'échelle : culture de diversification, système de culture, exploitation agricole, contexte régional ; et 3 ordres : agronomique, organisationnel, socio-économique.

3.2.2 Typologie des processus d'apprentissage : trois styles d'apprentissage

Les 143 processus d'apprentissage identifiés dans les entretiens sont classés en trois groupes à l'aide d'une analyse en composantes multiples (ACM) sur les variables de caractérisation des processus présentées dans le Tableau 19, puis d'une classification ascendante hiérarchisée (CAH) sous R. La classification est réalisée sur les 3 premières dimensions de l'ACM, qui expliquent 25% de la variabilité des modalités des processus d'apprentissage. Le choix du nombre de groupes retenu est celui qui permet de minimiser la perte d'inertie (Figure 14). On constate également qu'au-delà de 3 groupes, les processus d'apprentissage regroupés ensemble sont très contingents d'un agriculteur ou d'une culture de diversification.

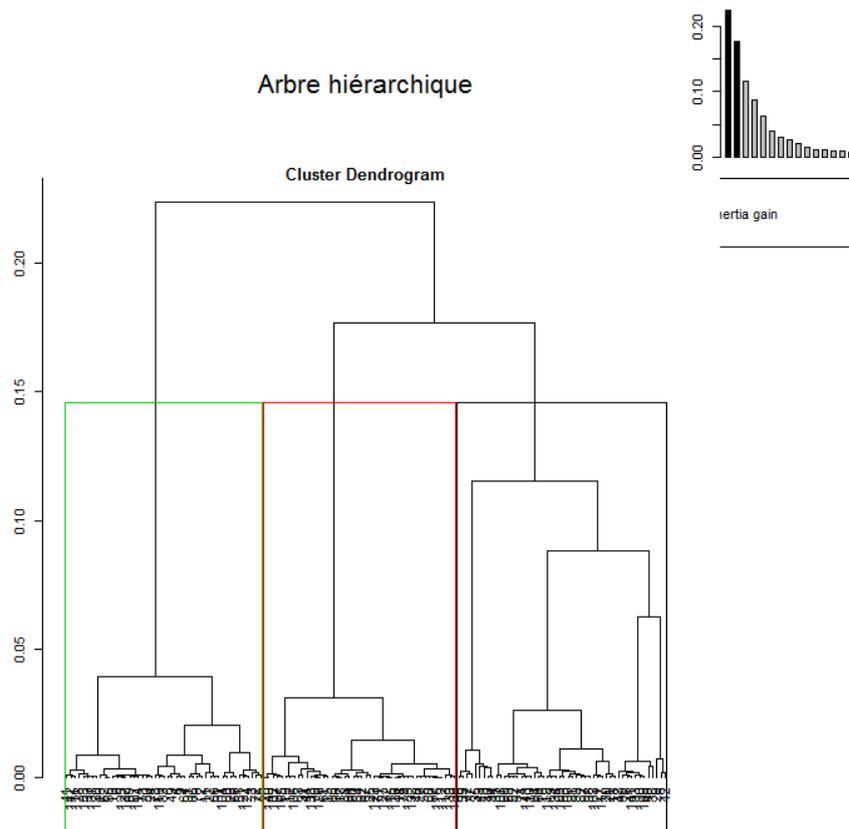


Figure 14 : Dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique des processus d'apprentissages. Classification par la méthode de Ward puis consolidation par la méthode des k-means. L'axe des ordonnées correspond au % de variance expliquée. Le graphique en haut à droite représente l'inertie en fonction du nombre de clusters.

Les processus d'apprentissage sont très différents les uns des autres, même au sein d'un groupe, puisque la variabilité expliquée par les trois premières dimensions de l'ACM est faible (25%). Les trois groupes de processus d'apprentissage délimités par l'analyse statistique diffèrent cependant significativement ($|V_{test}| \geq 2$) sur un ensemble de variables qui nous permettent de décrire des modalités de *mise en alerte*, de *mise en œuvre* et d'*évaluation* sur-représentées dans chacun des trois groupes, que nous qualifierons de **styles d'apprentissage**.

3.2.2.1 Correspondance entre les styles d'apprentissage et les situations d'apprentissage

En confrontant la classification des processus d'apprentissage en trois styles d'apprentissage, présentée ci-dessus, aux situations d'apprentissage au cours des trajectoires de diversification, décrites dans la section 3.1 de ce chapitre, on constate que les deux sont très fortement liées (Figure 15) :

- (1) Le style d'apprentissage 1 correspond essentiellement aux situations *d'introduction d'une culture de diversification*.
- (2) Le style d'apprentissage 2 correspond aux situations *d'amélioration de l'application d'une technique* ou de *test d'une nouvelle pratique*.
- (3) Le style d'apprentissage 3 correspond aux situations de *réorganisation des ressources productives*, *d'organisation du travail et des chantiers*, de *gestion des débouchés et de la commercialisation*, ou de *gestion du réseau professionnel*.

Les trajectoires de diversification des cultures mettent donc en jeu, pour les agriculteurs, des processus d'apprentissage dont les modalités ne sont pas les mêmes selon les situations dans lesquelles ils ont lieu.

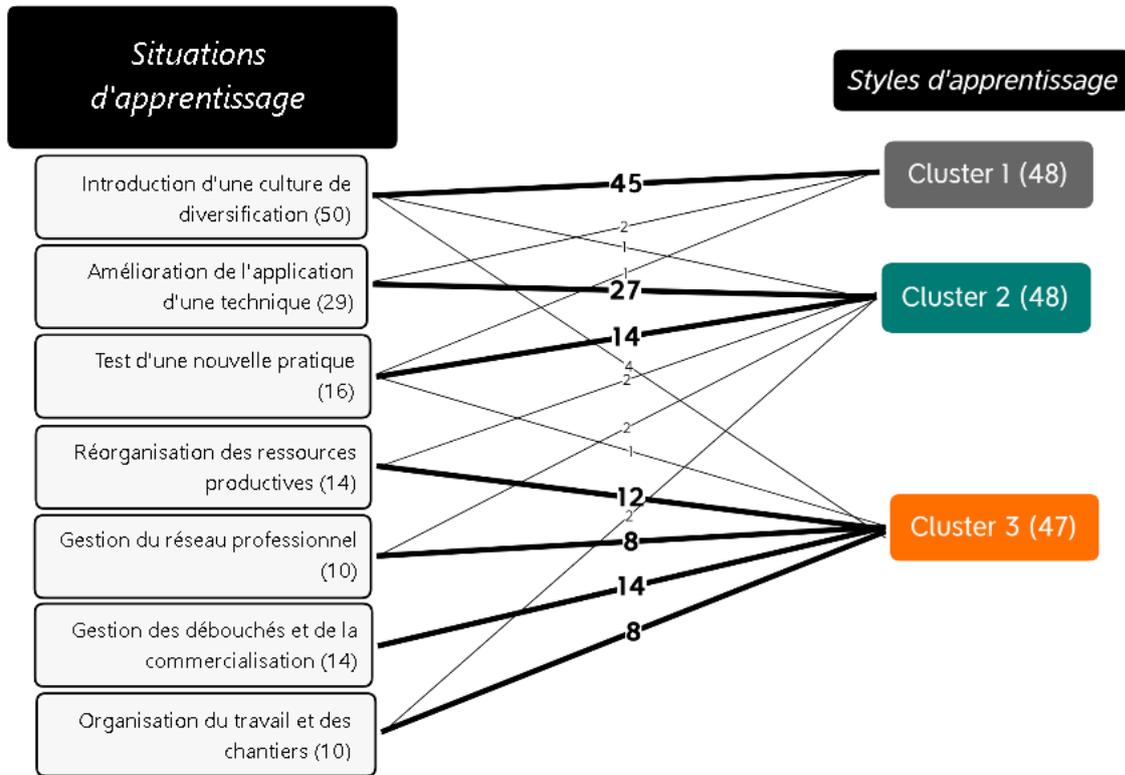


Figure 15 : Correspondance entre les situations d'apprentissage (à gauche) et les styles d'apprentissage (à droite) associés aux trajectoires de diversification des cultures

Tableau 20 : Variables et modalités caractéristiques des trois styles d'apprentissage associés à la diversification des cultures. N.S. : variable non significative pour le style.

	Variable	Style 1 48	Style 2 48	Style 3 47
1. Mise en alerte	<i>Objectif de l'agriculteur</i>	Problématique agronomique à l'échelle système de culture , ou économique	Problématique agronomique à l'échelle de la culture	Problématique organisationnelle , de travail ou de commercialisation
	<i>Interactions avec autrui</i>	Conseiller technique et/ou commercial	Aucune	Groupe de développement agricole
	<i>Effet du contexte politique et économique</i>	Proposition d'une filière, d'un organisme de développement, politique régionale	Non explicité	N.S.
	<i>Type de changement</i>	Rupture avec l'existant	Ajustement	N.S.
	<i>Degré de nouveauté</i>	Pratique et logique nouvelles	Pratique similaire à une autre que l'agriculteur a l'habitude d'appliquer	N.S.
2. Mise en œuvre	<i>Interactions avec autrui</i>	Conseiller technique et/ou commercial	Aucune	Groupe de développement agricole
	<i>Surface engagée au regard de l'assolement global</i>	Significative, pourrait être amenée à augmenter	N.S.	N.S.
	<i>Modalité de test</i>	Comparaison des observations à une référence externe		Cumul d'expérience au fil des années
	<i>Degré d'intentionnalité</i>	Planifié	N.S.	Veille
	<i>Forme des informations relevées</i>	Formelles quantitatives	N.S.	N.S.
	<i>Nature des informations relevées</i>	N.S.	Paramètre agronomique à l'échelle de la culture	Paramètre organisationnel
3. Evaluation	<i>Critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur</i>	Economique	Paramètre du résultat de la culture : rendement, qualité	Critère organisationnel, lié au travail ou à la commercialisation
	<i>Référentiel d'évaluation externe mobilisé</i>	Institutionnel	N.S.	Groupe de développement ou interne uniquement
	<i>Conséquences sur la pérennité de la culture</i>	Hausse des surfaces allouées à la culture	Neutre	N.S.
Exemples		<i>Volonté d'introduire une nouvelle culture pour ne pas augmenter les surfaces de maïs suite à une diminution des contrats chanvre. La coopérative propose la lentille via un contrat intégral et un accompagnement. Les résultats sont comparés à ceux des autres producteurs de lentille de la coopérative.</i>	<i>Réduction de la densité de semis de cameline dans une association lentille-camelina après plusieurs années de cultures et l'observation récurrente de zones où la cameline « étouffe » la lentille. Evaluation d'après ses notes et les résultats des années précédentes.</i>	<i>Lors de l'introduction d'une culture de lupin, la forte présence de graines de chénopodes a engendré des travaux post-récolte alors que la ferme n'était pas équipée (ni trieur ni séchoir) donc séchage sur taules. Résultat : mauvais séchage et charge de travail inattendue.</i>
		PA 9.7	PA 2.6	PA 3.2

3.2.2.2 *Style d'apprentissage 1 : Appropriation de la conduite d'une nouvelle culture*

90% des processus d'apprentissage en situation d'*introduction d'une culture* se déroulent selon le style 1. Motivés par des enjeux systémiques, les processus d'apprentissage de style 1 se construisent d'abord à partir de connaissances externes à l'exploitation, qui sont mobilisées par les agriculteurs grâce à des conseillers et des pairs. Par la suite, les observations de l'agriculteur se concentrent sur l'échelle de la culture, et sont comparées à des références fournies par les conseillers.

La mise en alerte (Tableau 20.1), correspondant ici à la phase où l'agriculteur envisage d'introduire une nouvelle culture, est motivée (variable *Objectif de l'agriculteur*) par des préoccupations agronomiques systémiques (relevant du système de culture ou de l'état du milieu) ou économiques, et influencée (variable *Effet du contexte politique et économique*) par le contexte régional (opportunités de débouchés, activités des groupes de développement...) qui peut agir comme déclencheur de la décision d'introduire une nouvelle culture. Les pratiques et les raisonnements sont nouveaux (variable *Degré de nouveauté*) pour l'agriculteur, qui s'appuie sur le conseil et le suivi de techniciens (OCS, Chambre, ...) pour définir les modalités de conduite de la culture au cours de la première année (variable *Interactions avec autrui*).

La mise en œuvre (Tableau 20.2) de l'introduction d'une nouvelle culture est toujours planifiée (variable *Degré d'intentionnalité*). L'agriculteur définit les modalités de cette mise en œuvre d'après les savoirs apportés par les techniciens (variable *Interactions avec autrui*), et procède à des relevés d'informations formelles et quantifiées (variable *Forme des informations relevées*).

L'évaluation (Tableau 20.3) de l'introduction d'une nouvelle culture se fait par comparaison des résultats de la culture à des référentiels issus d'organismes de collecte et stockage ou d'institutions (variable *Référentiel d'évaluation externe mobilisé*). Cette évaluation s'intéresse particulièrement aux résultats économiques (variable *Critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur*).

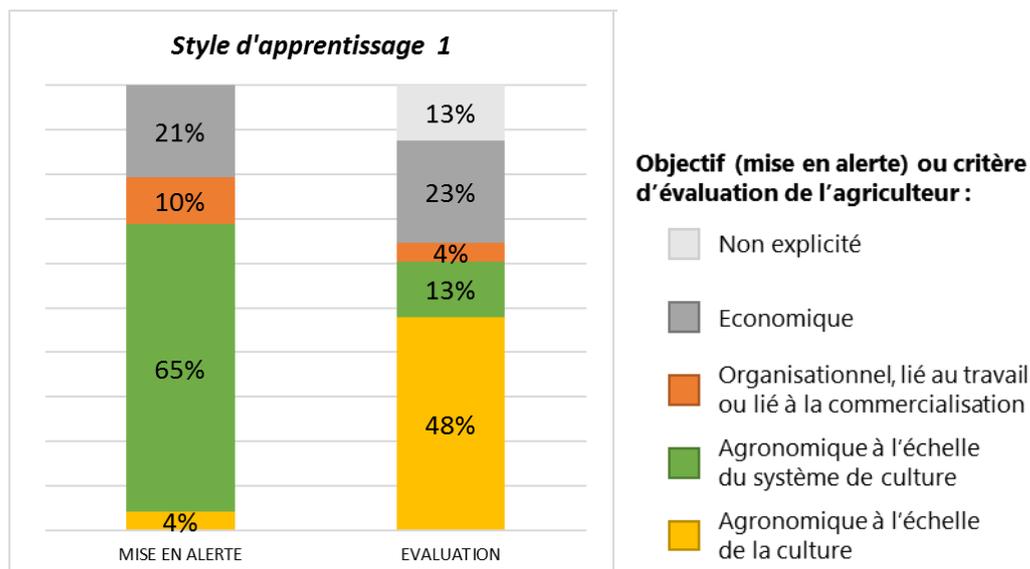


Figure 16 : Caractéristiques des processus d'apprentissage de style 1 du point de vue de l'objectif de l'agriculteur lors de la phase de mise en alerte, et des critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur lors de la phase d'évaluation. Nous n'avons pas représenté la nature des informations relevées lors de la phase de mise en œuvre car elle correspond dans quasiment tous les cas aux critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur lors de l'évaluation.

Les objets sur lesquels l'agriculteur porte son attention au cours des processus d'apprentissage associés à l'introduction d'une nouvelle culture passent (Figure 16) de motivations « systémiques », liées en particulier à des objectifs agronomiques à l'échelle du système de culture (effets précédents, modification de l'état du milieu), lors de la mise en alerte, à une évaluation principalement centrée sur la culture de diversification, portant sur des critères agronomiques (cycle de la culture, performances de la culture) ou économiques. Ce glissement peut s'expliquer par le fait que les effets systémiques attendus de l'introduction de la culture passent au second plan par rapport à l'évaluation des performances de la culture de diversification elle-même, pour lesquelles certains critères (rentabilité, charge de travail, salissement, stabilité du rendement...) peuvent être excluants quels que soient les résultats par ailleurs. Même quand ces effets systémiques sont évalués, c'est en général seulement à travers des observations centrées sur cette culture (par exemple, le développement des adventices en cours de culture, ou la structure du sol après la récolte).

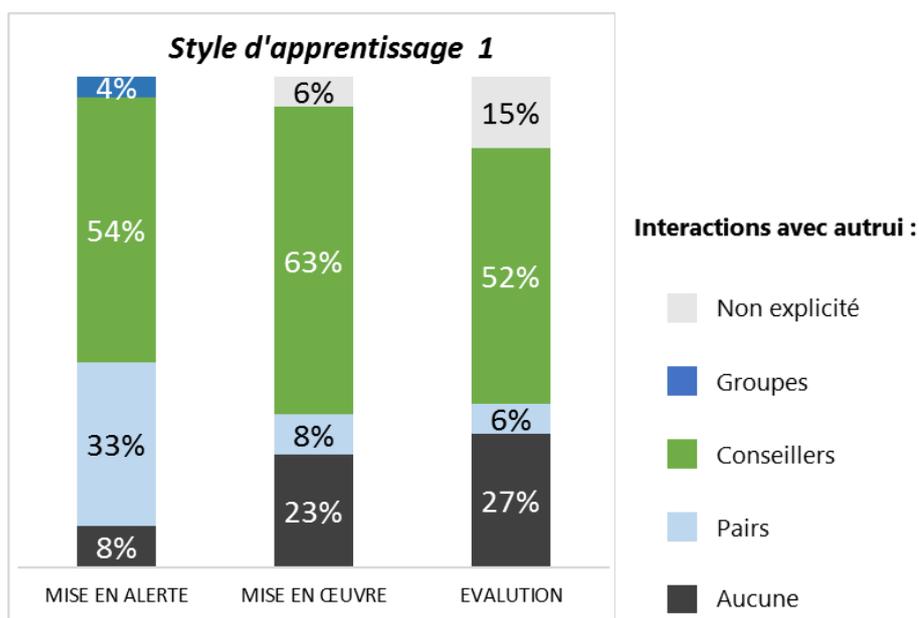


Figure 17 : Caractéristiques des processus d'apprentissage de style 1 du point de vue des interactions avec autrui lors des phases de mise en alerte, de mise en œuvre et d'évaluation

Les processus d'apprentissage de style 1 mobilisent fortement les interactions avec autrui : (i) avec des conseillers comme « sources de savoirs » ; (ii) avec d'autres agriculteurs, à l'origine de la mise en alerte (puis appui technique par les conseillers), ou en collaboration tout au long du processus d'apprentissage (Figure 17).

3.2.2.3 Style d'apprentissage 2 : Optimisation autonome des systèmes de culture

93% des processus d'apprentissage en situation d'amélioration de l'application d'une technique, et 88% de ceux en situation de test d'une nouvelle pratique, sont des processus d'apprentissage de style 2. Les processus se construisent autour de problématiques agronomiques en s'appuyant sur une production de connaissances sur l'exploitation, sans interactions avec autrui. Il s'agit souvent d'optimiser des points clefs de la conduite d'une culture ou du système de culture (voir chapitre 3 §3.1.2 et §3.1.3).

La mise en alerte (Tableau 20.1) correspond à l'identification par l'agriculteur d'une problématique agronomique, généralement une difficulté ou une insatisfaction à l'échelle de la culture de diversification (variable *Objectif de l'agriculteur*), qui conduit l'agriculteur à tester un ajustement des pratiques (variable *Type de changement*) en s'appuyant sur ce qu'il a l'habitude de faire sur d'autres cultures (variable *Degré de nouveauté*), sans remise en question plus large du fonctionnement du système de culture et de l'exploitation.

La mise en œuvre (Tableau 20.2) de l'amélioration d'une technique ou du test d'une nouvelle pratique se fait majoritairement de manière autonome (variable *Interactions avec autrui*), avec une observation par l'agriculteur du ou des paramètres agronomiques d'intérêt pour la culture concernée. Le test (variable *Modalité de test*) peut porter sur une seule modalité de pratiques, qui sera par la suite comparée à des résultats de référence pour l'agriculteur (31% des processus d'apprentissage de style 2), ou sur différentes modalités (par exemple de densité de semis, de préparation de sol ou d'application de produits phytosanitaires) mises en œuvre la même année (29% des processus d'apprentissage de style 2).

L'évaluation (Tableau 20.3) des changements de pratiques testés se fait selon ces mêmes paramètres agronomiques (variable *Critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur*). Les résultats de la culture sont comparés à des références internes à l'exploitation, issues de l'expérience que l'agriculteur a de la culture ou de savoir-faire acquis sur d'autres cultures (transposition de pratiques). La plupart du temps, le processus d'apprentissage permet le maintien de la culture de diversification dans l'assolement avec le même statut (variable *Conséquences sur la pérennité de la culture*).

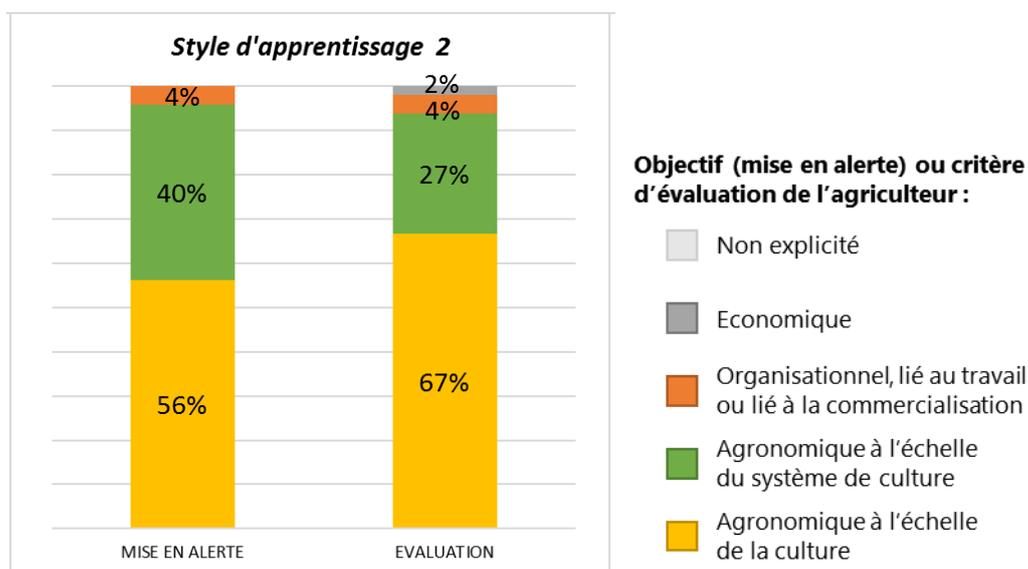


Figure 18 : Caractéristiques des processus d'apprentissage de style 2 du point de vue de l'objectif de l'agriculteur lors de la phase de mise en alerte, et des critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur lors de la phase d'évaluation. Nous n'avons pas représenté la nature des informations relevées lors de la phase de mise en œuvre car elle correspond dans la majorité des cas aux critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur lors de l'évaluation.

Tout au long du processus d'apprentissage de style 2, l'attention de l'agriculteur porte sur des paramètres agronomiques, principalement à l'échelle de la culture de diversification (**Figure 18 : Caractéristiques des processus d'apprentissage de style 2 du point de vue de l'objectif de l'agriculteur lors de la phase de mise en alerte, et des critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur lors de la phase d'évaluation.** Nous n'avons pas représenté la

nature des informations relevées lors de la phase de mise en œuvre car elle correspond dans la majorité des cas aux critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur lors de l'évaluation (Figure 18). La grande majorité de ces processus d'apprentissage portent, dans le cas de l'amélioration de l'application d'une technique (chapitre 3 §3.1.2), sur la gestion du semis (9/29) et des adventices (9/29). Les problématiques associées au test d'une nouvelle pratique (chapitre 3 §3.1.3) sont plus variées, et concernent également le semis (2/16) ou les adventices (3/16), mais aussi des problèmes d'insectes ou de maladies, en cours de culture ou au stockage (3/16), l'irrigation (2/16), ou les conditions de récolte et de conservation des récoltes (4/16).

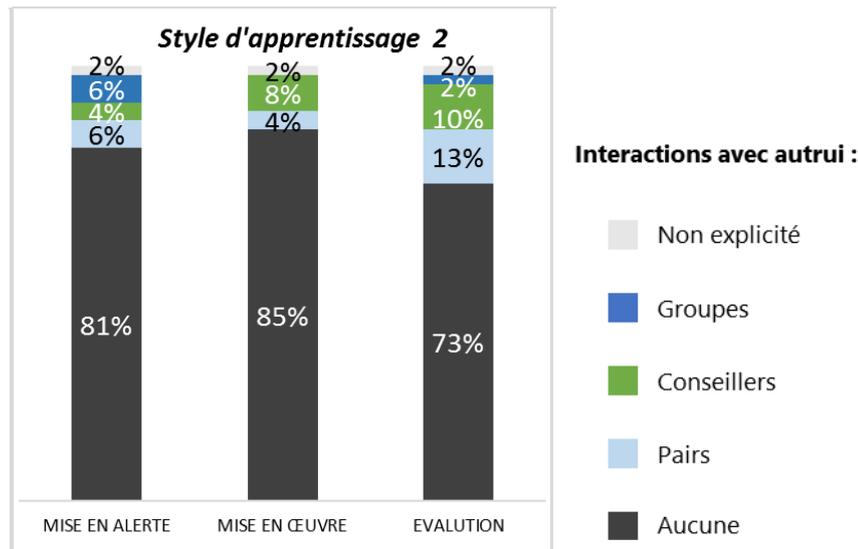


Figure 19 : Caractéristiques des processus d'apprentissage de style 2 du point de vue des interactions avec autrui lors des phases de mise en alerte, de mise en œuvre et d'évaluation

Pour les savoirs et références mobilisés, la primauté est accordée par l'agriculteur à son expérience personnelle plutôt qu'à des sources d'information et de partage d'expérience extérieures, il y a donc moins d'interactions avec autrui que dans les deux autres styles (Figure 19). 56% des processus d'apprentissage de style 2 se déroulent sans aucune interaction avec autrui. Ces processus d'apprentissage concernent (1) des ajustements de pratiques « de routine » (15 processus d'apprentissage) ; (2) des transpositions de pratiques déjà maîtrisées sur d'autres cultures à la culture de diversification (7 processus d'apprentissage). 44% des processus d'apprentissage de style 2 font malgré tout intervenir des interactions avec autrui pour au moins l'une des phases du processus : l'identification d'un problème, ponctuel ou récurrent, amène l'agriculteur à solliciter des pairs, des conseillers ou sa coopérative pour trouver des explications ou identifier des solutions à ce problème.

3.2.2.4 Style d'apprentissage 3 : Réorganisation du fonctionnement de l'exploitation et de ses réseaux

80% des processus d'apprentissage associés à l'organisation du travail et des chantiers et à la gestion du réseau professionnel, 87% des processus d'apprentissage associés à la réorganisation des ressources productives, et l'ensemble des processus d'apprentissage associés à la gestion des débouchés et de la commercialisation relèvent du style d'apprentissage 3. Ceux-ci se construisent face à des problématiques organisationnelles ou socio-économiques rencontrées en lien avec la diversification. Les agriculteurs mobilisent alors un type d'acteur privilégié (en

fonction de leurs réseaux professionnels : pairs, groupes de développement...), ainsi que leur propre expérience, pour résoudre le problème et évaluer la reproductibilité des connaissances produites.

La mise en alerte (Tableau 20.1) des processus d'apprentissage de style 3 résulte de problématiques (variable *Objectif de l'agriculteur* ; Figure 20) liées à l'organisation du fonctionnement de l'exploitation (organisation du travail et des chantiers, réorganisation des ressources productives) ou de ses relations avec ses réseaux (gestion du réseau professionnel, gestion des débouchés et de la commercialisation). Ces problématiques émergent le plus souvent dans le cadre d'interactions avec d'autres agriculteurs (variable *Interactions avec autrui*). Les préoccupations des agriculteurs sont également d'ordre économique (Figure 20) en lien avec des enjeux de commercialisation : dans le cadre d'une gestion collective de la commercialisation via des groupements d'agriculteurs, des magasins de producteurs ou des filières locales co-construites entre agriculteurs et aval, ou dans le cadre d'une prospection de débouchés auprès de l'aval sous forme de contrats avant le semis ou de vente par appel d'offres en fin de campagne.

La mise en œuvre (Tableau 20.2), soutenue par les interactions avec d'autres agriculteurs (variable *Interactions avec autrui*) relève souvent de l'accumulation d'expérience et de savoir-faire au fil des années, ou d'activités de veille sur certains sujets (cours des marchés, sélection variétale...), plutôt que sur le « test » de pratiques à proprement parler (variable *Modalité de test*). Elle s'appuie sur des relevés d'informations informels (variable *Forme des informations relevées*) liés à l'organisation du système de production (variable *Nature des informations relevées* ; Figure 20).

L'évaluation (Tableau 20.3) porte sur des critères organisationnels, liés au travail ou liés à la commercialisation (variable *Critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur*). Les agriculteurs la réalisent le plus souvent de manière autonome, ou s'appuient sur des groupes (variable *Référentiel d'évaluation externe mobilisé*).

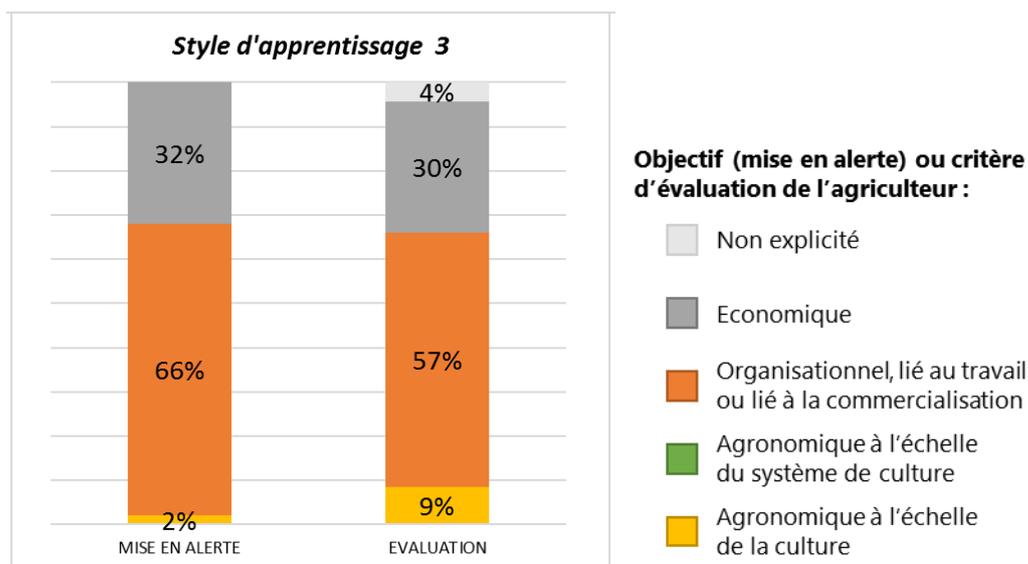


Figure 20 : Caractéristiques des processus d'apprentissage de style 3 du point de vue de l'objectif de l'agriculteur lors de la phase de mise en alerte, et des critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur lors de la phase d'évaluation. Nous n'avons pas représenté la nature des informations relevées lors de la phase de mise en œuvre car elle correspond dans la majorité des cas aux critères d'évaluation utilisés par l'agriculteur lors de l'évaluation.

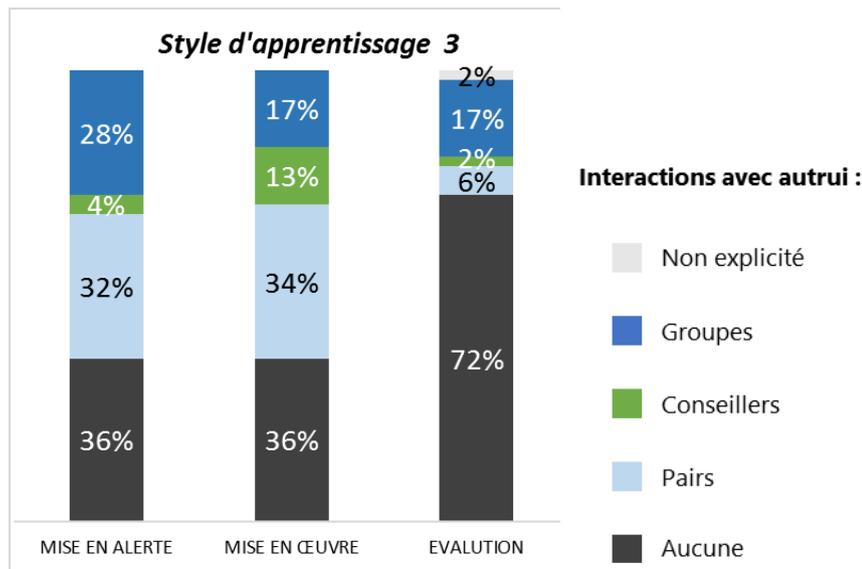


Figure 21 : Caractéristiques des processus d'apprentissage de style 3 du point de vue des interactions avec autrui lors des phases de mise en alerte, de mise en œuvre et d'évaluation

Les processus d'apprentissage de style 3 sont fréquemment élaborés avec des pairs ou des groupes de développement, mais la mobilisation d'interactions avec autrui dans ce style d'apprentissage est de nature variable (Figure 21). 10 processus d'apprentissage de style 3 liés à la réorganisation des ressources productives, la gestion de la main d'œuvre, ou la planification des chantiers ne font pas intervenir d'interactions avec autrui. Les interactions avec autrui concernent (i) la gestion collective de matériel, ou la collecte d'information sur du matériel et son utilisation auprès d'un autre agriculteur (17 processus d'apprentissage), (ii) la gestion des volumes de production et de leurs débouchés avec les opérateurs de l'aval ou des personnes « ressources » sur la commercialisation, ou (iii) les pratiques de commercialisation, la gestion des chantiers de récolte et du matériel, ou l'évolution des sources de conseil en lien avec des groupes d'agriculteurs.

Les trajectoires de diversification des cultures font donc intervenir trois styles d'apprentissage aux caractéristiques contrastées (Figure 22), intervenant dans des situations d'apprentissage distinctes.

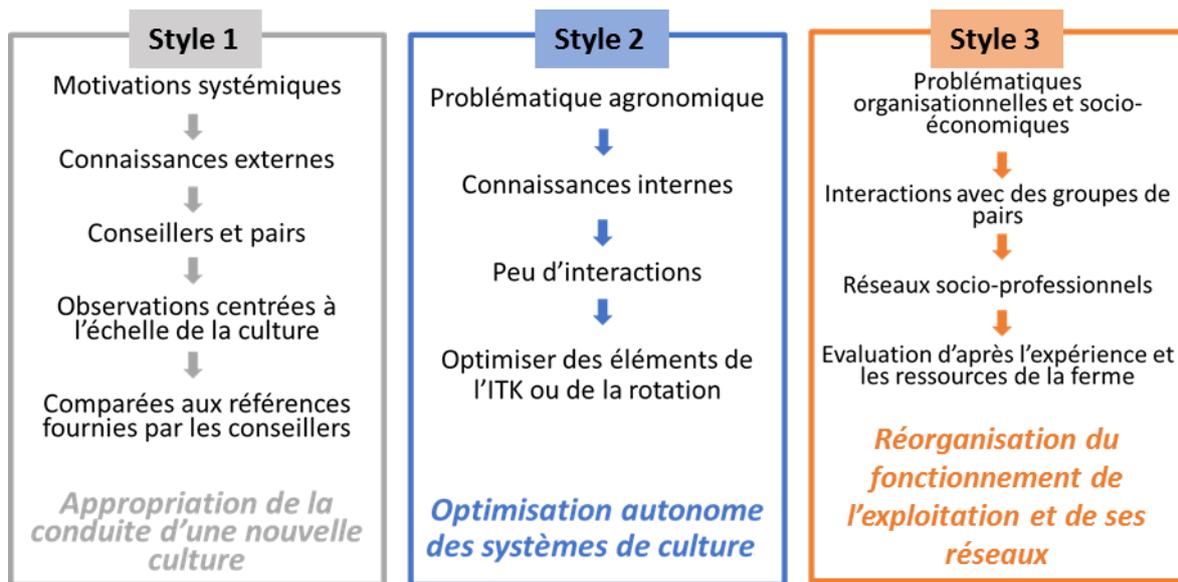


Figure 22 : Les trois styles d'apprentissage associés aux trajectoires de diversification des cultures et leurs principales caractéristiques : (1) appropriation de la conduite d'une nouvelle culture, (2) optimisation autonome des systèmes de culture, (3) réorganisation du fonctionnement de l'exploitation et de ses réseaux. ITK = itinéraire technique.

3.3 Les styles d'apprentissage dans les trajectoires de diversification

Selon les trajectoires de diversification, les agriculteurs mobilisent les trois styles d'apprentissage décrits ci-dessus dans un ordre varié et à des moments variés. Les trajectoires enquêtées se distinguent en particulier par la place qu'y occupent les processus d'apprentissage de style 3, autour des enjeux organisationnels et socio-économiques (Figure 23).

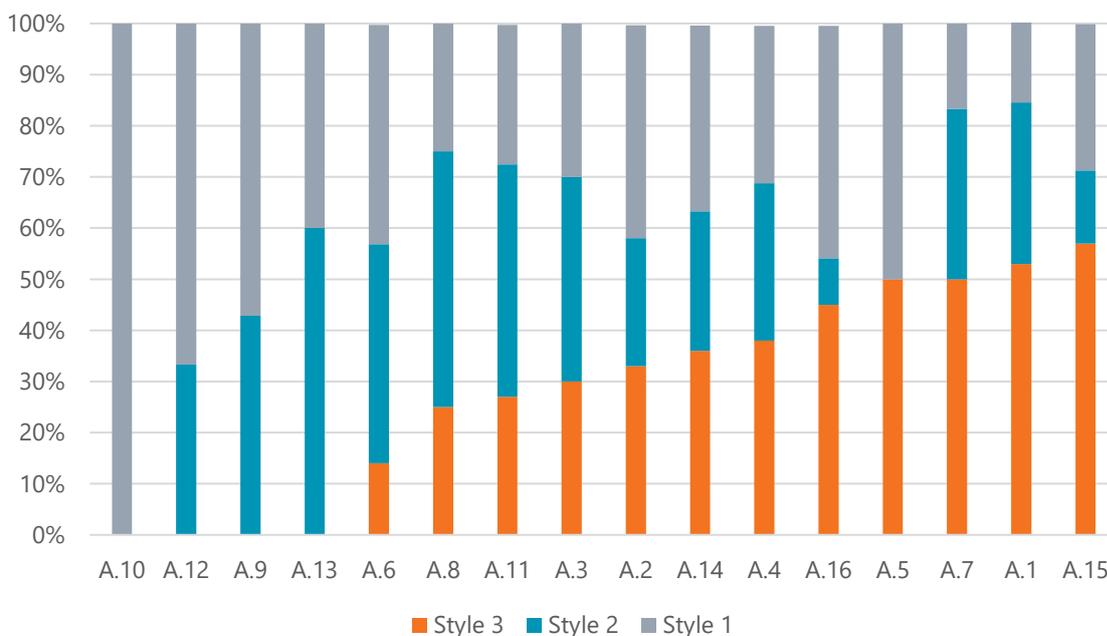


Figure 23 : Part représentée par chaque style d'apprentissage dans les processus d'apprentissage de chaque exploitation (classement selon l'importance du style 3)

On trouve systématiquement des processus d'apprentissage de style 1, *Appropriation de la conduite d'une nouvelle culture*, en général en début de trajectoire de diversification, mais on les retrouve aussi tout au long de la trajectoire de diversification. Ainsi, même quand les introductions de nouvelles cultures de diversification ont lieu après de nombreux apprentissages liés à la diversification, le nouvel apprentissage a les mêmes caractéristiques.

Pour 7 des 16 trajectoires, la fréquence de processus d'apprentissage de style 1 augmente au cours du temps. Autrement dit, ces agriculteurs continuent à introduire régulièrement de nouvelles cultures dans leurs systèmes même lorsqu'ils ont atteint des niveaux de diversité importants. Ces situations correspondent à des agriculteurs qui reconfigurent régulièrement leurs systèmes de culture et leur assolement, en lien avec des objectifs (i) d'autonomie alimentaire de l'élevage et de compléments de revenus par des cultures de vente, (ii) d'atteinte de niveaux de diversité élevés suite au constat que les systèmes de culture simplifiés, ou une culture principales en particulier, posent problème, ou (iii) pour parer à des difficultés de commercialisation d'une culture de diversification, qui amènent à explorer d'autres cultures.

Tous les agriculteurs (sauf A.5 et A.10) mettent également en place des processus d'apprentissage de style 2, *Optimisation autonome des systèmes de culture*. Ces processus d'apprentissage sont quasiment systématiques après l'introduction d'une nouvelle culture et le développement d'apprentissages de style 1 : le premier essai de la culture permet à l'agriculteur de mettre en lumière des éléments clés pour la réussite de la culture, ou qui ont posé problème. Si la culture est reconduite, cela s'accompagne alors de processus d'optimisation autonome des systèmes de culture, pour tenter de répondre aux problèmes identifiés.

Des processus d'apprentissage de style 2 peuvent aussi se développer après plusieurs années de culture, suite (i) à l'apparition de nouveaux problèmes ou contraintes liés à la culture, (ii) à l'évolution des modes de commercialisation de la culture et des critères de qualité associés, (iii) à l'évolution des ressources productives de l'exploitation, ou (iv) en lien avec un transition du mode de production (par exemple transition vers l'agriculture biologique ou l'agriculture de conservation).

Les agriculteurs qui ne mobilisent pas ou peu de processus d'apprentissage de style 3, *Réorganisation du fonctionnement de l'exploitation et de ses réseaux*, sont principalement des agriculteurs qui vendent leurs cultures de diversification via des systèmes d'approvisionnement de type coordonné par l'aval (voir Chapitre 2), sous contrat avec un ou des acheteurs, sur lesquels ces agriculteurs s'appuient pour un accompagnement technique, ou organisationnel concernant la conduite de la diversification (A.9, A.10, A.13, A.6, A.8). L'agriculteur 13 fonctionne par exemple avec des contrats proposés par sa coopérative, et explique qu'il est relativement facile pour lui d'organiser la conduite de ces cultures : « *c'est pas des cultures avec un itinéraire technique compliqué, c'est calé quasiment... l'itinéraire technique est donné [...] c'est quand même déjà super cadré. Après avec les interventions au champ tu adaptes les interventions... mais y a pas une grande latitude* ». L'agriculteur décide d'arrêter la culture de lentille après avoir constaté de trop grosses pertes à la récolte (réalisée par un prestataire), en « *attendant de voir* » notamment si d'autres barres de coupes montrent des résultats plus satisfaisants chez d'autres producteurs et dans les essais de la coopérative. L'agriculteur 8 correspond à ce modèle durant les premières années de sa trajectoire de diversification, puis décide de commercialiser ses cultures différemment afin de disposer de davantage de marges de manœuvre dans ses pratiques, ce qui l'amènera à des processus d'apprentissage de style 3. L'agriculteur 12 commercialise ses cultures de diversification à différents semenciers, avec des

contrats qui lui laissent davantage de flexibilité sur les pratiques de conduite des cultures que les exploitations citées ci-dessus. L'accès à ces contrats lui est possible du fait d'une précédente expérience professionnelle qui lui a permis de développer des relations avec des semenciers. L'agriculteur se base largement sur les références techniques données par les semenciers.

Les trajectoires où les processus d'apprentissage de style 3 prennent une place importante (A.1, A.4, A.5, A.7, A.15, A.16) correspondent à des agriculteurs qui s'impliquent fortement dans la commercialisation de leurs cultures, principalement dans des systèmes d'approvisionnement en circuits courts coordonnés par les agriculteurs, ou co-construits entre agriculteurs et opérateurs de l'aval (voir Chapitre 2). Cela peut se traduire par le démarchage d'industriels par les agriculteurs pour vendre des productions en partie transformées à la ferme, avec le moins d'intermédiaires possibles (A.1) ; par la commercialisation de cultures de diversification (généralement transformées) en vente directe (magasin à la ferme, AMAPs, groupement de producteurs, ...), en complément de produits animaux qui constituent le revenu principal de l'exploitation (A.4, A.5, A.16) ; ou par la recherche de contrats avec des industries semencières (A.7, A.15).

La présence de processus d'apprentissage de style 3 dans les trajectoires est corrélée avec un haut niveau de diversité des cultures (estimé en calculant l'indice de Shannon associé à l'assolement : voir Figure 24), et avec l'implication des agriculteurs concernés dans un grand nombre de réseaux professionnels différents.

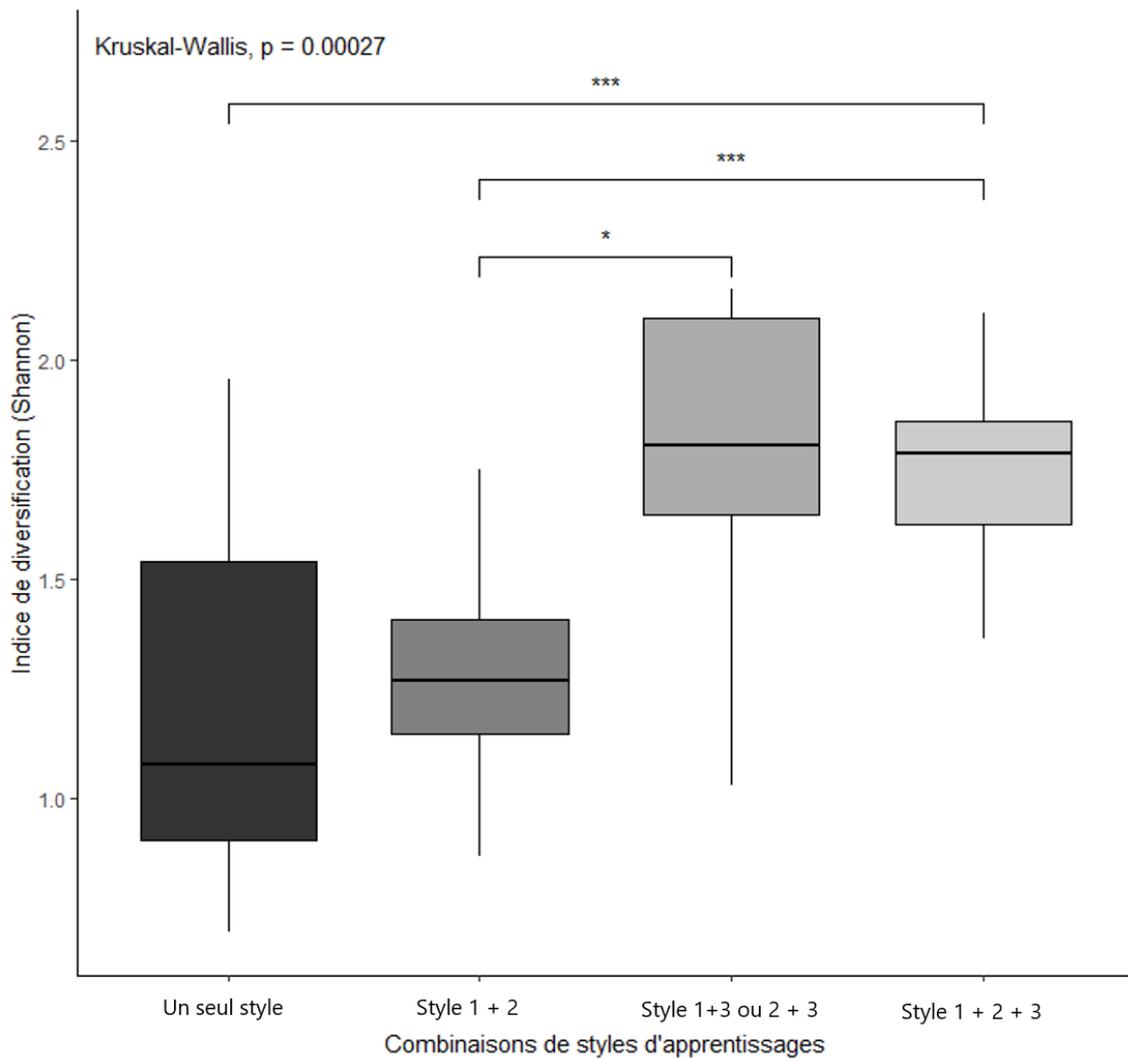


Figure 24 : Relation entre les styles mobilisés au cours d'une étape donnée de la trajectoire de diversification, et le niveau de diversité des cultures dans l'exploitation à cette étape. Résultats d'un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis. * = p-value < 0,05, *** = p-value < 0,001. Le niveau de diversité des cultures est estimé en calculant l'indice de Shannon : $H = - \sum \pi_i \cdot \ln(\pi_i)$; où π_i est la proportion de l'espèce i dans l'assolement.

4 DISCUSSION

4.1 Processus d'apprentissage liés à la diversification des cultures

Nous avons mis en évidence trois styles d'apprentissage des agriculteurs associés à la diversification des cultures dans les exploitations agricoles, présents de manière transversale dans la plupart des trajectoires de diversification : des processus d'apprentissage liés à l'appropriation de la conduite d'une nouvelle culture (style 1), des processus d'apprentissage liés à l'optimisation autonome des systèmes de culture (style 2), et des processus d'apprentissage liés à la réorganisation du fonctionnement de l'exploitation et de ses réseaux (style 3).

4.1.1 L'importance des interactions avec autrui

Les interactions avec autrui (conseillers, pairs, groupes de développement) contribuent significativement aux processus d'apprentissage des agriculteurs qui diversifient leurs cultures, en particulier dans les cas des processus d'apprentissage de style 1 et 3 ; les processus d'apprentissage de style 2 étant menés de façon plus autonome par les agriculteurs. L'importance des interactions sociales pour les apprentissages des agriculteurs a été montrée par de nombreux travaux (Chantre et al., 2014; Ingram, 2010; Kroma, 2006; Slimi et al., 2021; Stone, 2016; etc.).

Dans les processus d'apprentissage de style 1, liés à l'appropriation de la conduite d'une nouvelle culture, ce sont le plus souvent des conseillers ou d'autres agriculteurs qui interviennent. Ils peuvent contribuer à la « mise en alerte » de l'agriculteur, c'est-à-dire au diagnostic de son système et de l'intérêt d'introduire une nouvelle culture, ou être des sources de références pour définir les modalités de conduite de la culture et évaluer ses performances. Dans les processus d'apprentissage de style 3, liés à la réorganisation du fonctionnement de l'exploitation et de ses réseaux, ce sont le plus souvent d'autres agriculteurs ou des groupes d'agriculteurs (avec diverses modalités d'animation et de conseil) qui sont mobilisés. Ces pairs ou ces collectifs de pairs interviennent alors tout au long du processus d'apprentissage.

Mais notre analyse met également en évidence que les interactions entre l'exploitation et son environnement socio-professionnel *font elles-mêmes l'objet* d'apprentissages de la part des agriculteurs : parmi les connaissances acquises au cours des trajectoires de diversification, certaines portent en effet sur l'identification de personnes ressources pour la conduite des cultures de diversification (ressources en termes de savoirs, de partage d'expérience, mais aussi de matériel ou de travail par exemple) que l'on va pouvoir remobiliser dans le temps. D'autres connaissances sont acquises sur les réseaux dans lesquels il est intéressant de réaliser une veille (en ligne, par la participation à des réunions de producteurs...) pour accéder à des idées, références, partage d'expériences ; ou sur différents acheteurs potentiels de produits issus de la diversification et les caractéristiques de ces acheteurs.

Même s'ils ne sont pas toujours directement impliqués dans les processus d'apprentissage identifiés, on constate que l'implication des agriculteurs dans un grand nombre de réseaux professionnels est corrélée à la présence de processus d'apprentissage de style 3 et à de hauts niveaux de diversité des cultures.

Nos résultats suggèrent ainsi que l'implication des agriculteurs dans des réseaux permet de soutenir les processus de conception de ces agriculteurs au cours de leurs trajectoires de diversification. Les collectifs de pairs sont en effet des lieux qui permettent (i) la production

d'idées nouvelles, que l'agriculteur pourra mettre en dialogue avec ses pratiques (Chizallet et al., 2020; Slimi, 2022) ; (ii) l'apport et la contextualisation de connaissances nouvelles aidant les agriculteurs à traiter les problématiques qu'ils rencontrent sur leur exploitation (Leclère et al., 2018; Toffolini et al., 2017) ; mais aussi (iii) le soutien de processus de « défixation » des agriculteurs leur permettant d'élargir de nouvelles pistes d'évolution de leur système (Quinio et al., 2022).

4.1.2 Des apprentissages autonomes des agriculteurs sur leurs systèmes de culture

Les processus d'apprentissage de style 2, liés à l'optimisation autonome des systèmes de culture, correspondent à des situations d'ajustement des pratiques (amélioration de l'application d'une technique) ou de test d'une nouvelle pratique. L'agriculteur met en œuvre des modalités d'apprentissage autonome en s'appuyant sur son expérience de la culture et d'autres cultures (transposition à partir de culture ou de chantiers similaires), à la fois (i) pour réaliser le premier diagnostic qui l'amène à identifier des modifications à tester dans ses pratiques, (ii) pour mettre en œuvre ces modifications, et (iii) pour en évaluer les résultats, en définissant les paramètres à observer, les références auxquelles comparer les résultats obtenus. Ces processus d'apprentissage sont très similaires aux expérimentations par les agriculteurs, décrites par Catalogna et al. (2018), s'appuyant sur des travaux préalables (Kummer et al., 2017; Lyon, 1996). Comme l'ont fait ces auteurs, il faudrait approfondir plus précisément les modalités d'apprentissages autonomes des agriculteurs qui diversifient pour mieux soutenir et encourager la mise en œuvre de telles activités d'expérimentation par les agriculteurs.

Deux objets d'apprentissage « autonomes » sont particulièrement fréquents dans les trajectoires de diversification étudiées : (i) la maîtrise de la préparation du sol et du semis, pour permettre une implantation et une croissance des cultures à même de répondre aux attentes de l'agriculteur, et (ii) la gestion des adventices, à la fois au cours du cycle d'une culture, et à l'échelle pluriannuelle sur une succession de cultures. Le fait que ces deux objets d'apprentissage apparaissent fréquemment dans les trajectoires nous semble souligner plusieurs choses : d'une part, un besoin de références très locales et adaptées au contexte de production de l'exploitation sur ces deux aspects de la conduite des cultures ; d'autre part, l'importance pour les agriculteurs de maîtriser ces deux aspects pour considérer que la conduite des cultures de diversification est réussie. Ces objets correspondent également aux principales motivations agronomiques des agriculteurs à diversifier ; les bénéfices potentiels de la diversification pour le contrôle des adventices sont bien démontrés (Beillouin et al., 2021; Weisberger et al., 2019), tandis que ses effets sur les sols sont pour l'instant moins bien connus (Beillouin et al., 2021; Isbell et al., 2017).

4.1.3 Des apprentissages d'ordre organisationnel et socio-économique

Notre analyse met en évidence des apprentissages d'ordre organisationnel et socio-économique dans les trajectoires de diversification des agriculteurs. Parmi les situations de production de connaissances identifiées dans le récit de ces trajectoires, les situations d'organisation du travail et des chantiers, de réorganisation des ressources productives, de gestion du réseau professionnel et de gestion des débouchés et de la commercialisation occupent une place importante. Cela se traduit, dans les processus d'apprentissage des agriculteurs, par des objets d'attention qui sont souvent organisationnels ou socio-économiques, et qui dépassent souvent l'échelle de la culture. Ceci renforce les résultats de

Delecourt et al. (2019), sur les transformations du travail dans les processus de mise en œuvre de pratiques innovantes, et constitue un résultat nouveau par rapport aux précédents travaux s'intéressant aux apprentissages des agriculteurs, concernant l'articulation entre la gestion des différentes ressources de l'exploitation et celle de ses réseaux professionnels. Nous n'avons pas connaissance de travaux portant spécifiquement sur les apprentissages des agriculteurs liés à leurs pratiques de commercialisation, bien que différents auteurs en aient souligné l'importance (Cholez et al., 2020; de Roest et al., 2018; Kilpatrick and Johns, 2003).

4.1.4 Une succession d'élargissements et de réduction des problèmes au cours du temps

L'enchaînement de processus d'apprentissage correspondant à différents styles au cours des trajectoires traduit des réductions et des élargissements des problèmes posés par les agriculteurs au fil du temps, décrits par Quinio et al. (2022) comme des phases de réflexion « convergente » ou « divergente ». Ainsi, les processus d'apprentissage de style 1, associés à l'introduction de nouvelles cultures sur l'exploitation, ont comme point de départ une posture assez « holiste » ou exploratoire des agriculteurs, puisque la phase de mise en alerte porte sur une diversité d'objets d'attention agronomiques, économiques, organisationnels. Une réduction s'opère depuis cet intérêt « multicritère » pour la culture de diversification, vers une évaluation centrée sur les performances de la culture. Au cours de ces processus d'apprentissage, les agriculteurs identifient des points clés de la conduite de la culture (difficultés, conditions de réussite) qu'ils approfondissent dans la suite de leur trajectoire de diversification via des processus d'apprentissage de style 2 ou 3, constituant ainsi des itinéraires d'apprentissage (Catalogna et al., 2022). On peut alors considérer que les processus d'apprentissage de style 1 correspondent à une phase de problématisation dans l'itinéraire d'apprentissage de l'agriculteur, d'ouverture d'enquête (Slimi, 2022) autour d'une nouvelle culture et de ses modalités d'insertion réussie dans le système de production.

4.2 Styles d'apprentissage, objectifs des agriculteurs et systèmes d'approvisionnement

Les trajectoires de diversification étudiées présentent des contrastes importants dans la présence et l'enchaînement de processus d'apprentissage de différents styles. Ces différences entre trajectoires peuvent notamment être reliées à des différences d'objectifs des agriculteurs, et d'attentes vis-à-vis de leur activité :

(1) Chez certains agriculteurs, on observe une focalisation sur un petit nombre de cultures de diversification, impliquant uniquement des processus d'apprentissages de style 1 et 2 sur les cultures introduites ; chez d'autres, on observe une multiplication du nombre de cultures introduites, qui est associée pour les agriculteurs à une réorganisation de leurs systèmes de culture, de l'organisation des ressources de l'exploitation, et des modes de commercialisation (de Roest et al., 2018).

(2) Pour certaines trajectoires, les agriculteurs s'appuient fortement sur des structures externes à l'exploitation pour l'acquisition de connaissances et de références sur les cultures de diversification, avec un rôle important pour les opérateurs de l'aval (Cholez et al., 2017) ; pour d'autres, la production de connaissances est « internalisée » par les agriculteurs dans les

activités de l'exploitation, constituant une forme d'activité de « back-office », ou de recherche, sur les cultures de diversification (Catalogna et al., 2018; Kummer et al., 2017).

(3) On observe enfin des trajectoires où les agriculteurs s'impliquent dans les activités post-récolte, de transformation et de commercialisation des cultures de diversification, appelant à des processus d'apprentissage de style 3 ; alors que dans d'autres, la diversification est « limitée » à des activités de production.

Il serait intéressant d'explorer davantage les liens entre production de connaissances par les agriculteurs et temporalité des trajectoires de diversification, en s'appuyant sur la notion d'itinéraire d'expérimentation – ou d'apprentissage (Catalogna et al., 2022). On peut faire l'hypothèse que la profondeur temporelle de la trajectoire de diversification conduit l'agriculteur à acquérir une expérience transversale autour de la diversification, comme une pratique en tant que telle, qui facilite de plus en plus l'introduction de nouvelles cultures, ou permet d'accélérer les processus d'apprentissage (en lien avec les trajectoires de type 3 – voir Chapitre 1 – où les agriculteurs testent de nombreuses cultures) : les savoirs produits sur certaines cultures de diversification permettraient alors de maintenir les cultures de diversification introduites, mais aussi de faciliter l'introduction de nouvelles cultures et d'éviter des échecs sur ces cultures.

4.3 Perspectives pour l'accompagnement des agriculteurs à la diversification des cultures

Notre travail ouvre plusieurs pistes pour l'accompagnement de la diversification :

(1) soutenir les différentes situations dans lesquelles les agriculteurs sont amenés à acquérir des connaissances lorsqu'ils diversifient, en tenant compte des différences qu'elles impliquent dans les processus d'apprentissage : situations d'introduction d'une nouvelle culture (style 1) ; situations de test d'une nouvelle pratique ou d'ajustement des pratiques (style 2) ; situations de réorganisation des ressources internes à l'exploitation ou de ses interactions avec différents réseaux (style 3).

(2) apporter aux agriculteurs et aux conseillers des références sur les cultures de diversification et sur leur évaluation, mais aussi sur le diagnostic des systèmes simplifiés et des leviers de diversification adaptés à différentes problématiques.

(3) soutenir la constitution et les activités de collectifs d'agriculteurs à même de contribuer à différents aspects des apprentissages liés à la diversification : partage d'expériences et de références sur les cultures de diversification et sur la gestion de systèmes de culture diversifiés ; apprentissages collectifs liés à des expérimentations mises en œuvre chez plusieurs agriculteurs et évaluées collectivement ; gestion collective de ressources productives ou de circuits de commercialisation.

(4) identifier et accompagner les situations qui appellent des apprentissages d'ordre organisationnel ou socio-économique ; produire des savoirs et des références également sur ces aspects de la diversification.

(5) accompagner les agriculteurs dans leurs trajectoires de diversification de manière cohérente en fonction des caractéristiques de leurs systèmes et de leurs attentes : types de trajectoire, types de commercialisation et de systèmes d'approvisionnement, types d'apprentissage. Nous reviendrons sur ces points dans la discussion générale.

PARTIE 3 : DISCUSSION GÉNÉRALE

1 LES MECANISMES DE LA DIVERSIFICATION DES CULTURES DANS LES EXPLOITATIONS AGRICOLES ET DANS LES TERRITOIRES

L'analyse comparative de trajectoires de diversification dans trois territoires européens éclaire les mécanismes de la diversification dans les exploitations agricoles et dans les territoires. Cette analyse montre à la fois qu'il y a une pluralité de processus possibles pour diversifier les cultures de vente dans les exploitations agricoles, et que ces mécanismes sont tous mobilisés (dans des proportions variables) dans les trois territoires européens étudiés.

1.1 Pluralité des manières de diversifier

Nous avons caractérisé les mécanismes de la diversification à différents niveaux : les trajectoires de changements de pratiques des agriculteurs, en lien avec leurs motivations et les ressources qu'ils mobilisent (Chapitre 1) ; les systèmes d'approvisionnement de cultures de diversification, leurs modalités de coordination et leurs combinaisons dans les territoires (Chapitre 2) ; les processus d'apprentissage des agriculteurs, et leur enchaînement au cours des trajectoires de diversification (Chapitre 3). Cette caractérisation des mécanismes de diversification nous donne des clés pour comprendre les évolutions conjointes des exploitations agricoles, des systèmes d'approvisionnement et des territoires vers la diversification.

On peut caractériser la pluralité des processus de diversification en les positionnant sur un axe dont les deux extrémités correspondent à deux modèles bien distincts. Les mécanismes de diversification liés à chacun de ces modèles reposent sur des cohérences entre les modalités de coordination des systèmes d'approvisionnement, les types de trajectoires de changement de pratiques des agriculteurs, et les processus d'apprentissages de ces agriculteurs.

1.1.1 Modèle « aval » : des processus de diversification guidés, coordonnés et soutenus par les structures de l'aval des filières

Dans ce premier modèle, ce sont les opérateurs de l'aval qui développent et qui coordonnent le développement de la ou des cultures de diversification et des systèmes d'approvisionnement associés. Ces développements passent par des investissements importants de la part des opérateurs de l'aval : (1) dans les équipements et la logistique associés au développement d'activités spécifiques des cultures de diversification (tri, classement, transformation...) ; (2) dans la production de connaissances sur les cultures de diversification. Ces investissements permettent aux opérateurs de définir des cahiers des charges qui portent non seulement sur les caractéristiques attendues du produit collecté, mais aussi sur un ensemble de pratiques qui visent à atteindre ces caractéristiques, voire sur les intrants qu'ils s'engagent à fournir aux agriculteurs pour s'assurer de l'homogénéité du produit final (semences et produits phytosanitaires en particulier). Ces cahiers des charges peuvent donc impliquer à leur tour, de la part des agriculteurs, des investissements dans la mobilisation de diverses ressources prédéfinies par l'opérateur aval : semences d'une variété donnée, intrants fertilisants et phytosanitaires, main d'œuvre pour différentes interventions sur la culture. Les opérateurs de l'aval sélectionnent et accompagnent les agriculteurs qui produisent les cultures de diversification concernées, en soutenant leurs processus d'apprentissage, et en leur

garantissant l'accès à des services de conseil, à du matériel adéquat, à de la main d'œuvre compétente, et à des débouchés pour lesquels les volumes et les prix de vente sont le plus souvent connus à l'avance. Les agriculteurs qui s'engagent dans ces processus de diversification suivent des trajectoires de type 2, où ils introduisent progressivement un petit nombre de cultures de diversification sur des surfaces importantes, avec peu de retours en arrière. Ils développent des processus d'apprentissage essentiellement agronomiques, sur la conduite des espèces de diversification et sur leur insertion dans les systèmes de culture de l'exploitation, avec le soutien technique des opérateurs de l'aval. Notons que les systèmes d'approvisionnement coordonnés par les marchés se rapprochent de cet archétype : ils sont moins encadrés et soutenus, mais restent pilotés par l'aval, sans marge de manœuvre des agriculteurs sur les critères de qualité.

L'organisation du système d'approvisionnement décrite ici recoupe également certains traits de celle que l'on retrouve chez les opérateurs d'aval pour les cultures dominantes (achats d'intrants recommandés, cahiers des charges comme guideline de la culture...) (Capillon and Valceschini, 1998; Le Bail, 2005). Cependant, pour ces cultures, les investissements se concentrent souvent sur la seule rationalisation de la logistique de récolte et de stockage (Le Gal et al., 2009) et sur une validation locale des connaissances sur ces cultures, élaborées par ailleurs dans les instituts techniques et de recherche : essais variétaux ou de produits phytosanitaires, outils d'aide à la décision (Filippi and Frey, 2015).

Le « pilotage » par un acteur central permet de coordonner plus facilement les différentes activités d'innovation, de production de connaissances, d'approvisionnement... liées à la diversification. Ce résultat est cohérent avec d'autres travaux qui ont pu montrer que le développement d'innovations correspondant à des pratiques agricoles plus durables que celles du mode de production dominant exige en particulier une coordination forte entre les acteurs (Lamine et al., 2010; Meynard et al., 2018; Navarrete et al., 2006). Cette coordination peut aller jusqu'à certaines formes d'intégration à petite échelle de plusieurs maillons de la filière (Fares et al., 2012; Lamine et al., 2010). Meynard et al. (2017) montrent que le couplage d'innovations s'opérant à différents maillons de la filière, permis par une telle coordination, est particulièrement efficace pour faire évoluer les pratiques des acteurs de manière viable, ce que nous avons également constaté sur nos territoires d'étude.

1.1.2 Modèle « agriculteurs » : des processus de diversification portés et coordonnés par des agriculteurs, ou par de nouveaux collectifs d'acteurs incluant les agriculteurs

Dans ce second modèle, ce sont les agriculteurs qui développent des systèmes d'approvisionnement en co-construction avec des acteurs de l'aval ou d'autres agriculteurs, voire des consommateurs (en circuits courts). Les activités de production de connaissances et les investissements sont partagés entre les acteurs des systèmes d'approvisionnement en question (agriculteurs, transformateurs). Les agriculteurs engagés dans ces types de systèmes d'approvisionnement multiplient généralement les cultures testées sur leurs exploitations, et/ou les modes de commercialisation de ces cultures, à la fois (1) dans une perspective de limitation des risques liés aux aléas de production et de commercialisation, et (2) pour atteindre des objectifs de diversité des systèmes de culture, associés par les agriculteurs à des intérêts agronomiques particuliers.

Les agriculteurs investissent alors des ressources importantes dans la mise en œuvre d'expérimentations sur leur ferme, et s'impliquent dans l'organisation des activités de transformation et de valorisation post-récolte des produits collectés. Les apprentissages de ces agriculteurs portent par conséquent non seulement sur le fonctionnement des systèmes de culture diversifiés, mais aussi sur des éléments liés à la commercialisation des récoltes, au fonctionnement de la ferme et aux interactions avec l'extérieur. Ces trajectoires de diversification se traduisent localement par une multiplicité d'espèces, dont les surfaces restent limitées. Les agriculteurs qui s'engagent dans ces processus de diversification suivent plutôt des trajectoires de type 3, dans lesquelles ils diversifient vite, sur un nombre de cultures souvent important, quitte à revenir en arrière quand les effets agronomiques ou les débouchés ne répondent pas à leurs objectifs. On montre, comme plusieurs auteurs l'ont fait pour différents aspects de la transition agroécologique, que ces dynamiques, appuyées sur un fort investissement dans l'expérimentation à la ferme (Chantre et al., 2015) peuvent être facilitées par la construction de groupes d'agriculteurs mutualisant le matériel ou le travail, les connaissances et les modalités d'apprentissage (Lucas, 2021; Lucas et al., 2018; Slimi et al., 2021).

Entre ces deux modèles extrêmes, correspondant à des idéaux-types, se trouvent par exemple les agriculteurs engagés dans des trajectoires de type 1 (Chapitre 1) : ces agriculteurs peuvent se rapprocher du modèle « aval », avec des systèmes d'approvisionnement coordonnés par les marchés, mais sont critiques des cahiers des charges qu'ils jugent trop contraignants. Ils s'essayaient donc parfois à nouer des partenariats avec des transformateurs pour gagner en autonomie, se rapprochant du modèle « agriculteurs », mais sans y arriver vraiment, faute souvent d'investissements personnels ou collectifs suffisants dans des expérimentations et dans la gestion post-récolte des cultures.

Ce contraste dans les manières de diversifier pose différentes questions : sur la gouvernance de processus de diversification dans les territoires (Discussion §1.2) ; sur les motivations des acteurs qui s'engagent dans la diversification, en particulier les agriculteurs (Discussion §1.3).

1.2 Diversifier dans un territoire

A l'échelle d'un territoire donné, le contexte à la fois en termes de structures d'aval (coopératives et négoce, industries), et d'organisation collective des agriculteurs (groupes de développement, coopératives pour l'utilisation du matériel ou le travail, autres associations...) a une influence forte sur les formes de diversification qui pourront se développer, et leur facilité à se développer. Les interactions entre les différents acteurs des systèmes agricoles (agriculteurs, aval, conseil), les attentes et objectifs de ces acteurs, conditionnent les systèmes d'approvisionnement qui se développent, la production de connaissances liées à la diversification, et donc les trajectoires de diversification du territoire.

Les trois territoires étudiés dans le cadre de la thèse présentent des contextes socio-économiques et pédoclimatiques contrastés, qui conduisent à des dynamiques de diversification distinctes.

En Vendée, le contexte est très « aidant » avec un opérateur dominant qui offre des débouchés à de nombreuses cultures de diversification, avec des cahiers des charges bien cadrés et une assistance aux pratiques, selon des modalités proches du modèle « aval ». Mais ce modèle ne convainc pas tous les agriculteurs, dont certains recherchent des modèles alternatifs en circuits courts ou à travers des partenariats avec des industriels. Ces trajectoires de diversification

« alternatives » s'appuient sur des collectifs préexistants, qui sont très nombreux sur le territoire, marqué par une « tradition collective » Vendéenne²³, mise en avant par plusieurs acteurs.

Dans les Marches, on observe un contexte très verrouillé autour de deux cultures principales, et les acteurs (*consorzi*) qui collectent ces cultures ne proposent pas de débouchés pour des cultures de diversification. La diversification est liée au développement de l'agriculture biologique avec des coopératives spécialisées dans la collecte des produits biologiques, mais aussi des industries avec lesquelles ces coopératives nouent des partenariats, ce qui ouvre des trajectoires de diversification pour les agriculteurs engagés dans l'agriculture biologique. La dynamique de diversification du territoire est par ailleurs liée au développement de circuits courts et locaux (en bio ou conventionnel), dans lesquels les consommateurs (via des magasins à la ferme, ou des groupements d'achat solidaire²⁴) et les commerces (boulangeries, pizzerias, restaurants) jouent un rôle majeur, organisant de véritables systèmes alimentaires territorialisés.

En Scanie, le contexte est marqué par la présence de nombreuses industries agroalimentaires, dont les plus grosses proposent aux agriculteurs des contrats de diversification très cadrés, avec des cahiers des charges assez contraignants, associés à une haute valeur ajoutée des cultures. Des industries de taille plus petite fonctionnent de manière plus flexible avec des agriculteurs qui ont davantage de marge de manœuvre et de proposition, en contrepartie de la prise en charge d'une plus grande part de la production de connaissances et de la mobilisation de ressources (équipements, main d'œuvre) sur les cultures de diversification. Différents organismes de conseil indépendants proposent une vision globale des perspectives de diversification et accompagnent les agriculteurs dans la conception de leurs successions de cultures et la commercialisation.

En dépit de ces différences importantes en termes de contexte socio-économique et de fonctionnement des systèmes agricoles, auxquelles s'ajoutent des différences pédoclimatiques influençant la gamme de cultures envisageables, on retrouve dans ces trois territoires des motifs similaires dans les mécanismes de diversification, tant au niveau des exploitations agricoles que des filières. On y observe ainsi les mêmes types de trajectoires d'exploitations et les mêmes types de systèmes d'approvisionnement, qui se combinent dans des proportions et dans des configurations variables selon le territoire. On propose ici de discuter des éléments qui nous semblent indispensables pour comprendre ces configurations et leur impact sur les dynamiques de diversification des territoires, en revenant sur les controverses observées entre différents modèles de diversification, et sur la manière dont la question de la localité intervient dans les dynamiques de diversification des territoires.

1.2.1 Controverses entre modèles de diversification

Le rôle relatif des agriculteurs et des opérateurs de l'aval est variable dans les différentes formes de diversification que l'on a caractérisées, et cela conduit à des controverses qui ressortent des entretiens avec les différents acteurs des trois territoires.

²³ ceci est notamment illustré par le nombre élevé de CUMA et de GEDA dans le département de la Vendée

²⁴ *Gruppi di Acquisto Solidale (GAS)*, équivalents des Amap françaises en Italie

1.2.1.1 Première controverse : l'autonomisation des agriculteurs

Le modèle « aval » est controversé du point de vue des contraintes imposées par les opérateurs aval aux agriculteurs, via les cahiers des charges et/ou les critères de sélection des producteurs. Ces contraintes peuvent entrer en contradiction avec les objectifs des agriculteurs, en termes d'utilisations d'intrants, d'organisation du travail, ou plus largement de mobilisation des ressources de l'exploitation. Ces contradictions émergent parfois du fait des apprentissages que les agriculteurs développent autour de la diversification au cours du temps (voir §1.3 ci-dessous).

Cela pose la question de la capacité de ce modèle de diversification « aval » à impliquer les différents acteurs des filières (notamment agriculteurs) sur le long terme, par exemple (i) si les motivations à diversifier de ces acteurs sont principalement liées à des incitations extérieures, et que des motivations plus « pérennes » ne prennent pas le relais, ou (ii) si ce modèle est trop rigide dans son encadrement des pratiques des agriculteurs.

L'enjeu de la capacité d'action (*agency*) ou de l'autonomie dont disposent les agriculteurs dans leurs relations avec les autres acteurs des systèmes agricoles fait l'objet de différents travaux (De Herde et al., 2019; Forney, 2021; Stock et al., 2014), qui proposent de caractériser plus précisément les différentes formes que peut prendre cette autonomie, et les perspectives pour la développer (autonomisation, *empowerment*). Ces travaux nous donnent des pistes sur la manière dont différentes formes de coordination de la diversification pourraient répondre davantage aux enjeux d'autonomie des agriculteurs.

Nous avons déjà souligné dans les conclusions de l'article de Morel et al. (2020; voir annexe 1) l'importance de la capacité d'action, définie comme « *la capacité à entreprendre des actions délibérées dans le but de générer un changement* »²⁵. La perception de cette capacité d'action par les agriculteurs a conditionné les objectifs que se sont fixés les acteurs des cas d'étude du projet DiverIMPACTS en termes de diversification, et les problèmes qu'ils ont anticipés. Nous avons en particulier fait le constat que « *les agriculteurs [partenaires du projet DiverIMPACTS] impliqués dans les filières conventionnelles, de commodités, concentrent leur champ d'action au niveau de l'exploitation, acceptant les règles des acteurs de l'aval ou se sentant impuissants à les changer* »²⁶. L'enjeu de la capacité d'action des agriculteurs était donc bien identifié, en relation avec leur intégration dans des filières impliquant des « règles » auxquelles se conformer.

L'autonomisation des agriculteurs dans leurs décisions de conduite de leur système de production n'est cependant pas nécessairement synonyme d'une individualisation totale des prises de décision. Stock et al. (2014) soulignent ainsi la distinction entre ce qu'ils appellent l'autonomie « néolibérale », pensée à l'échelle individuelle, qui implique en réalité que les agriculteurs respectent les règles des marchés, et constitue en ce sens une « illusion » d'autonomie, et ce qu'ils appellent l'autonomie « réelle » (*actual autonomy*), fondée sur une organisation collective d'agriculteurs choisissant de se donner des objectifs communs, et se donnant les moyens de ne pas (complètement) suivre les règles des marchés (voir Tableau 21). Ils s'appuient pour cela sur une analyse des interactions entre agriculteurs et systèmes agrialimentaires à différents niveaux d'organisation en Angleterre, en Suisse, en Nouvelle-Zélande ou au Brésil.

²⁵ "the capacity to take purposeful actions in an attempt to generate change"

²⁶ "farmers involved in conventional commodity value chains focus their scope of action at the farm level, accepting the rules of downstream actors, or feeling powerless to change them"

Tableau 21 : Distinction (simplifiée) entre « autonomie néolibérale » et « autonomie réelle ». Source : Stock et al., 2014.

	Organizing principle	Freedom to	Freedom from
Neoliberal autonomy	Individualism	Produce according to the market Compete with other farmers 'on a level playing field'	State control Regulation Reliance on others
Actual autonomy	Collectivism	Organize one's own work Work with others to realize collective interests	Dependencies and inequalities caused by the structures of neoliberal accumulation Neoliberal ideology (to a point)

La proposition de ces auteurs de penser l'autonomie des agriculteurs à une échelle collective s'appuie fortement sur les travaux de van der Ploeg (2014) et ce qu'il appelle « coopératives territoriales ».

Dans des systèmes qui restent majoritairement coordonnés par des structures de l'aval (certification agroenvironnementale), Forney (2021) montre que des processus d'autonomisation des agriculteurs peuvent également être à l'œuvre en arrière-plan et contribuer à une reconfiguration progressive des filières. Ces processus d'autonomisation sont liés au fait que la certification agroenvironnementale crée une arène de négociation entre agriculteurs et aval, au sein de laquelle les intérêts collectifs des agriculteurs peuvent être exprimés, représentés et influencer sur les pratiques de l'aval. En Vendée, nous avons observé des dynamiques de co-construction de systèmes d'approvisionnement entre des agriculteurs et une structure de l'aval qui collecte la plupart des productions dans des systèmes d'approvisionnement coordonnés par le marché (02-OCS-Ve). Les demandes convergentes de plusieurs agriculteurs prêts à s'organiser pour stocker et livrer des cultures de diversification (féverole et lin oléagineux) ont amené l'opérateur de l'aval à faire évoluer ses pratiques. De telles expériences constituent peut-être des « signaux faibles » sur les possibilités d'autonomisation d'agriculteurs impliqués dans des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval ou le marché.

1.2.1.2 Seconde controverse : le changement d'échelle

Le modèle « agriculteurs » est controversé du point de vue de sa capacité à « faire changer la diversification d'échelle », pour différentes raisons :

(1) parce qu'il suppose une implication des agriculteurs dans le fonctionnement des systèmes d'approvisionnement, au-delà de l'activité de production (ils contribuent significativement à la production de connaissances et à l'organisation de la filière), qui n'est pas considérée comme envisageable par tous les agriculteurs ;

(2) parce qu'il implique des dispositifs de discussion et de négociation entre acteurs (afin que les objectifs de ces différents acteurs soient partagés et discutés), dont les perspectives d'organisation et de gouvernance à « grande échelle » sont questionnées.

Sur nos territoires d'étude, on constate que la gouvernance de ces modèles de diversification prend des formes variées : accords informels, contrats (annuels ou pluriannuels), création de nouvelles structures juridiques impliquant à la fois un collectif d'agriculteurs et une ou plusieurs structures de l'aval, etc. Ces formes de diversification s'appuient le plus souvent sur des

collectifs d'agriculteurs (collectifs informels, groupements de producteurs, groupes de développement...) animés de manière autonome, par des animateurs ou animatrices salariés (dans le cas d'associations), ou par des personnes dépendant de structures de développement agricole ou de conseil qui jouent alors le rôle d'intermédiaires, et qui contribuent à faciliter la coordination entre les agriculteurs et l'aval. Ces modes de fonctionnement soulignent l'importance des organisations collectives, et de l'animation ou intermédiation des relations entre les agriculteurs et les acteurs de l'aval. Il apparaît indispensable de caractériser ces formes d'organisation, dans la perspective d'aider ces modèles de diversification à croître ou à se multiplier dans les territoires.

Groot-Kormelinck et al. (2022) analysent ainsi le rôle des organisations de producteurs (qu'il s'agisse de coopératives ou d'associations de développement rural, en agriculture conventionnelle ou biologique) dans les systèmes agri-alimentaires. Ces auteurs décrivent les rôles « classiques » des organisations de producteurs, comme intermédiaires entre les agriculteurs et d'autres acteurs des systèmes agri-alimentaires, que nous avons décrits en particulier dans le fonctionnement des systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval : commercialisation, soutien à la production, constitution de réseaux de producteurs, représentation politique – souvent indirecte – des intérêts des producteurs.

Au-delà de ces rôles, Groot-Kormelinck et al. montrent que les organisations de producteurs peuvent jouer, implicitement, des rôles d'intermédiation dans les transitions vers la durabilité (Kivimaa, 2014; d'après Groot-Kormelinck et al., 2022). En effet, elles participent à (i) expliciter les attentes et les visions des agriculteurs, (ii) constituer des réseaux entre producteurs et autres acteurs des systèmes agri-alimentaires, et (iii) faciliter les apprentissages et la production de connaissances de ces acteurs. C'est particulièrement vrai dans le cas des coopératives spécialisées dans l'agriculture biologique, décrites dans les Marches (Chapitre 2), comme pour celles analysés en Uruguay par Groot-Kormelinck et al. : ces coopératives (i) s'organisent pour développer et sécuriser des débouchés, pour des cultures que les agriculteurs en AB jugent nécessaires dans leurs systèmes, notamment les légumineuses, (ii) nouent des partenariats avec des acteurs privés et publics qui peuvent contribuer au développement de ces filières, et (iii) accompagnent techniquement les producteurs dans leurs trajectoires de diversification.

Dans des systèmes d'approvisionnement co-construits, ce sont généralement des structures de conseil administrées par les agriculteurs qui jouent ces rôles, par exemple en animant les interactions entre des groupes d'agriculteurs et des acteurs de l'aval, ou en portant une vision des évolutions souhaitables pour leurs adhérents (Civam et 03-IAA-Ve en Vendée, HIR et 44-IAA-Sc en Scanie). En Vendée, l'Apad, association initialement centrée sur le partage d'expériences entre agriculteurs, a développé en 2020 le label *Au cœur des sols*, centré sur les pratiques d'agriculture de conservation des sols, incluant le principe de diversité des espèces cultivées (nombre de familles, d'espèces, présence de légumineuses, proportion de la SAU destinée à la culture majoritaire), destiné à rendre ces pratiques visibles et à permettre la valorisation des produits qui en sont issus. On peut considérer que ces structures de conseil et de développement agricole, qui n'étaient traditionnellement pas impliquées dans des problématiques de commercialisation des productions, se substituent ici aux activités des coopératives qui ne se sont pas engagées dans la diversification. Ailleurs, ce sont directement des groupes d'agriculteurs, sans structure « intermédiaire », qui s'organisent pour interagir avec les acteurs de l'aval, recréant ainsi de fait des formes de coopération à petite échelle.

Groot-Kormelinck et al. soulignent cependant aussi des limites dans le positionnement des organisations de producteurs comme intermédiaires des transitions, qui s'appliquent

également dans le cas des modèles de diversification (co)pilotés par les agriculteurs : (i) des limites de temps, d'intérêt ou de compétences des producteurs concernés, (ii) des contraintes de fonctionnement pour l'organisation de la commercialisation des productions qui freinent le changement d'échelle de ces structures et donc leur portée systémique, et (iii) des difficultés à faire émerger une vision commune des objectifs de durabilité visés sans remettre en cause les rôles initiaux de soutien à la production et à la commercialisation. Nous avons relevé ces limites dans nos territoires d'étude, en particulier dans les discours d'agriculteurs ne souhaitant pas ou ne pouvant pas investir des ressources dans le développement de nouvelles pratiques de commercialisation qui leur permettraient d'accéder à d'autres possibilités de diversification. Plusieurs agriculteurs ont ainsi souligné que l'investissement dans la commercialisation, qu'il s'agisse de démarcher des transformateurs ou de mettre en place de la vente directe, constitue « un autre métier » venant s'ajouter à la multiplicité d'activités qu'ils prennent déjà en charge. Nous avons par ailleurs montré que la réorganisation des pratiques de commercialisation implique des processus d'apprentissage spécifiques (Chapitre 3).

Ces limites soulignent finalement l'enjeu, pour les structures d'organisation collective des agriculteurs pouvant contribuer à la diversification des cultures, de trouver un équilibre entre, d'une part, la construction d'actions collectives et les intérêts que peuvent apporter la mise en commun des activités de production de connaissances et de commercialisation, et d'autre part, la préservation de l'autonomie décisionnelle des agriculteurs concernés. Groot-Kormelinck et al. parlent d'une « *tension classique et inhérente aux organisations de producteurs – détenues et contrôlées par les agriculteurs – qui doivent naviguer entre prise de décision démocratique d'une part, et efficacité dans l'exécution de leurs rôles d'autre part* »²⁷. Dépasser ces difficultés peut alors impliquer, en complément d'une structuration locale de collectifs d'agriculteurs pour le soutien à la production et à la commercialisation d'une diversité de cultures, d'envisager d'autres structures à des niveaux d'organisation plus élevés, qui faciliteraient la multiplication et le maintien de telles initiatives (De Herde et al., 2019; Kivimaa et al., 2019; Klerkx and Leeuwis, 2009).

1.2.1.3 En conclusion : une complémentarité des modèles et des acteurs à l'échelle territoriale ?

Les différentes configurations entre formes de diversification observées dans nos territoires, et les controverses entre modèles de diversification, interrogent les complémentarités possibles et souhaitables entre ces modèles dans les territoires. Les différents systèmes d'approvisionnement que nous avons identifiés ne mobilisent pas tous les mêmes agriculteurs ni les mêmes acteurs des filières, et ne concernent souvent pas les mêmes cultures et les mêmes zones de production. Par ailleurs, différents systèmes d'approvisionnement peuvent jouer des rôles complémentaires pour un même agriculteur ou dans un territoire, en amenant d'une part à une diversification « de gamme » concernant un nombre important de cultures, et d'autre part à une diversification « spécialisée » concernant des surfaces importantes pour une culture (voir discussion §4.3.2 du chapitre 2, « Un double mouvement vers la diversification des territoires »).

Lamine et al. (2012) montrent que le développement d'expériences innovantes permettant des dynamiques de transition vers davantage de durabilité des systèmes agri-alimentaires repose

²⁷ "the classic and inherent tension within producer organizations—due to their nature as producer-owned and controlled organizations—to navigate between democratic decision-making on the one hand and efficiency in the execution of their roles on the other hand"

à la fois (i) sur de nouvelles coordinations et modes de gouvernance entre acteurs de ces systèmes, et (ii) sur une diversité et une complémentarité entre initiatives « *alternatives* » et « *hybrides* »²⁸. Ces auteurs identifient deux caractéristiques majeures de ce que serait un nouveau mode de gouvernance des systèmes agri-alimentaires, intégré et territorial, par opposition au mode de gouvernance agro-industriel dominant :

(1) Non pas un mécanisme de gouvernance dominant, mais une recherche d'équilibre entre une diversité de mécanismes de gouvernance à différents niveaux, initiés par une ou plusieurs des trois catégories d'acteurs qui jouent un rôle majeur dans la transition des systèmes agri-alimentaires territoriaux, à savoir les acteurs publics, les acteurs des filières (incluant les agriculteurs), et la société civile. Nous avons souligné, en cohérence avec cette suggestion, l'importance d'une pluralité de mécanismes de gouvernance, et de structures impliquées dans ces mécanismes de gouvernance, au sein même des acteurs des filières : les modèles de diversification développés ne sont pas les mêmes selon qu'ils sont principalement gouvernés par des coopératives, par des transformateurs, par des agriculteurs, ou gouvernés conjointement par plusieurs de ces acteurs.

(2) Parmi les acteurs des institutions et de la société civile, l'implication de structures qui ne sont pas traditionnellement associées à la gouvernance des systèmes agri-alimentaires : les pouvoirs publics locaux et régionaux (par opposition aux pouvoirs publics nationaux et européen majoritaires dans les décisions de politiques agricole et alimentaire), les acteurs des zones urbaines (par opposition aux zones rurales), ou encore les acteurs des politiques de santé, d'environnement ou d'éducation, en lien avec les multiples dimensions des problématiques agricoles et alimentaires actuelles. Les acteurs des pouvoirs publics et de la société civile sont relativement périphériques dans notre analyse des systèmes d'approvisionnement des cultures de diversification, mais pourraient avoir un rôle plus important à jouer, à la fois (i) dans l'impulsion d'initiatives de diversification dans les territoires, en lien avec les problématiques locales, et (ii) dans la contribution à différents mécanismes de gouvernance de certains systèmes d'approvisionnement associés aux cultures de diversification. Lamine et al. (2012) soulignent en particulier le rôle de ces acteurs dans la construction de systèmes alimentaires alternatifs (circuits courts, circuits d'approvisionnement locaux, etc.), dans les politiques d'approvisionnement alimentaires des institutions publiques, et dans la définition et la coordination de stratégies alimentaires locales (voir Figure 25).

²⁸ i.e. hybrides entre initiatives conventionnelles et alternatives

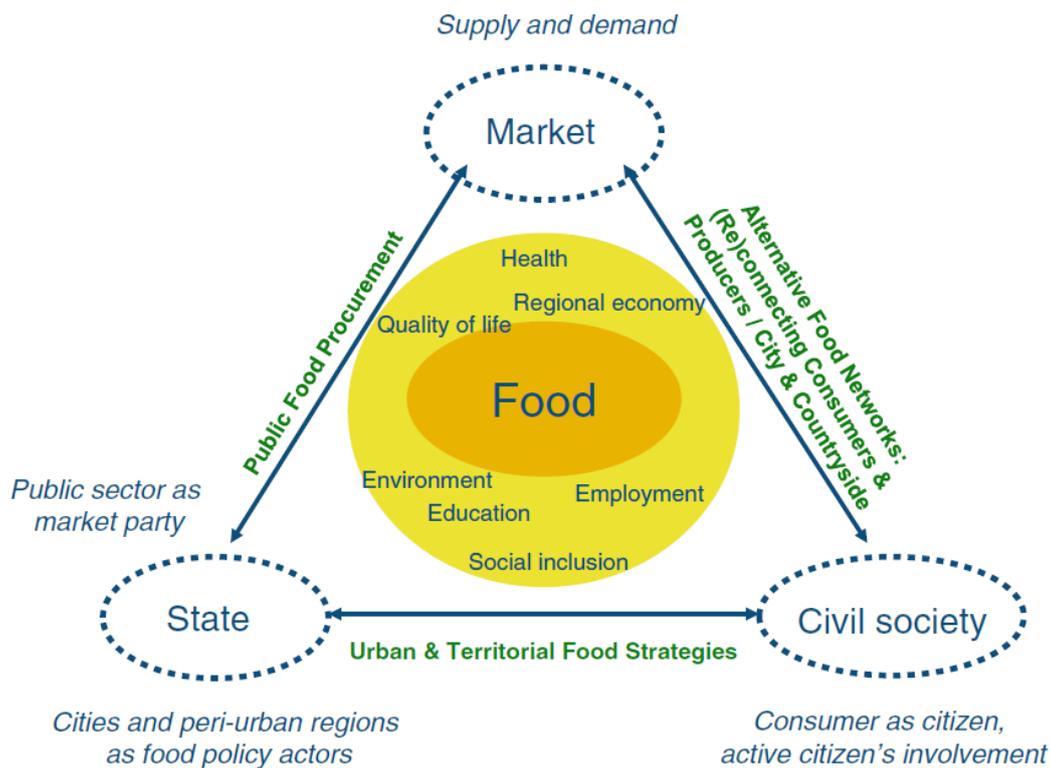


Fig. 11.7 Contours of an integrated, territorial mode of agri-food governance: in recent years there has been a proliferation of societal and policy aims related to food beyond traditional concerns of farm income and rural development – thus ‘food’ has become a thematic integrative meeting point for various policy concerns and the role of state, market and civil society is transformed

Figure 25 : Représentation des différents mécanismes de gouvernance (en vert) mis en œuvre par les acteurs des filières (Market), des pouvoirs publics (State) et de la société civile (Civil society), pour le développement de systèmes agri-alimentaires intégrés et territoriaux (en orange, au centre), en lien avec une diversité d’enjeux (en jaune : santé, économie, emploi, éducation, etc.). Source : Lamine et al., 2012.

1.2.2 La question de la localité

La « relocalisation » des productions (pour des produits jusque-là largement importés d’autres régions ou pays) est l’un des moteurs de la diversification dans nos trois territoires d’étude (par exemple pour l’industrie de la fabrication d’aliments pour volailles biologiques dans les Marches, la production de légumes secs en Vendée ou en Scanie). Cette relocalisation est présentée par les acteurs comme un levier de résilience, de réduction des impacts environnementaux ou de traçabilité des produits par rapport à l’importation. D’autres cultures de diversification se développent, à l’inverse, dans le cadre de filières tournées vers l’export : pois surgelé en Scanie ou dans les Marches, certaines productions biologiques dans les Marches. Leur lieu de production est alors souvent un argument pour la valorisation des produits exportés vers d’autres régions ou pays, une assurance de qualité.

Les systèmes agri-alimentaires associés aux cultures de diversification ont donc une forte dimension « locale », soit par leurs circuits de distribution, soit par la traçabilité de l’origine des productions. On retrouve ici les deux dimensions des travaux sur la localité décrites par Bowen and Mutersbaugh (2014) : d’une part, les circuits « locaux » (*local*), et d’autre part, les productions « localisées » (*localized*). Dans le cas de la diversification des cultures, quel rôle

peuvent jouer ces deux dimensions pour « tirer » des dynamiques de diversification dans les territoires ? Dans quelle mesure le caractère « local ou localisé » des productions peut-il être un moteur de diversification, c'est-à-dire contribuer à une déspecialisation des territoires ?

Le cas des circuits locaux pose la question de la « demande » à l'échelle territoriale, et des évolutions possibles de cette demande, pour des productions issues de cultures de diversification, et donc des surfaces qui peuvent être concernées par une relocalisation. Lorsque la production « relocalisée » sur un territoire y rencontre des débouchés qui restent limités, on peut aussi observer de potentielles concurrences entre territoires, un risque identifié par exemple par des opérateurs en Vendée pour les filières de lentille et de pois chiche en France.

Dans le cas des productions localisées, exportées vers d'autres régions ou pays, se pose la question de nouvelles formes de spécialisation territoriale auxquelles ces dynamiques pourraient aboutir. Par exemple, dans le cas de productions sous indication géographiques (voir Belletti et al., 2017; d'après Lamine et al., 2019), la plus-value liée à la réputation de l'IG peut entraîner un développement excessif (d'un point de vue agronomique) de l'espèce concernée (Belletti et al., 2017). Nous n'avons pas observé de processus de ce type sur nos trois territoires, les cultures de diversification sous AOP en Vendée et dans les Marches concernant des surfaces qui restent limitées, et ce de manière stable au cours du temps.

Lamine et al. (2019) suggèrent que les dynamiques de transition des systèmes agri-alimentaires sont favorisées par la confrontation entre une diversité de réseaux d'acteurs et d'initiatives, associés à des modèles conventionnels ou alternatifs, à l'échelle du territoire : les controverses qui émergent de la confrontation entre ces modèles pouvant conduire à des « re-différenciations » des modèles (en particulier conventionnels) pour répondre aux critiques qui leur sont faites, ainsi qu'à une légitimation progressive de certains éléments associés aux modèles « alternatifs », et *in fine* à une évolution globale des pratiques à l'échelle territoriale. On peut ainsi faire l'hypothèse que les controverses que nous avons constatées entre modèles « aval » et « agriculteurs » feront évoluer les pratiques associées à ces modèles pour intégrer les questions d'autonomisation des agriculteurs et de gouvernance qui leur sont posées.

Conaré et Bricas (2021), dans « *Prendre ses distances avec le local* », soulignent bien les intérêts et limites de la mise en avant du local dans les systèmes alimentaires. Comme dans notre cas particulier de la diversification des cultures, ces auteurs montrent les tensions qui se jouent entre spécialisation et diversification des productions : « *il s'agit donc de trouver un compromis entre deux tendances a priori contradictoires : diversifier pour réduire les effets négatifs de la spécialisation ou spécialiser pour tirer parti des caractéristiques d'un territoire* ». L'enjeu des niveaux respectifs de spécialisation et de diversification (au sens large) des systèmes agri-alimentaires dans les territoires est également identifié par Gasselin et al. (2021, 2020) comme un axe d'analyse majeur du fonctionnement des modèles agricoles et alimentaires à l'échelle territoriale. Pour dépasser l'opposition entre localisation et spécialisation et mettre en avant les complémentarités entre ces deux dynamiques, Conaré et Bricas proposent d'envisager pour les systèmes alimentaires un horizon de « localisme cosmopolite », ou de « translocalisme » (d'après Ho, 2020) dans lequel seraient favorisés « *des processus d'hybridation entre approvisionnements locaux et plus lointains, permettant un ancrage territorial sans pour autant s'enfermer dans un espace local* ». C'est un phénomène que l'on a pu observer dans nos territoires d'étude : dans les Marches, avec à la fois le développement de circuits alimentaires locaux et des productions principales (pâtes, huile de tournesol, huile d'olive pour les cultures pérennes) destinées à l'export, ou en Scanie, avec des systèmes alimentaires dépendant

d'importations pour une grande partie des productions de fruits et légumes, mais une recherche de relocalisation de la production pour des légumes de plein champ ou pour des légumes secs.

1.3 Motivations et attentes des agriculteurs qui diversifient

Dans le Chapitre 1, nous avons montré que les motivations des agriculteurs à diversifier sont liées à la résolution de problèmes agronomiques, au souhait de se positionner sur des marchés attractifs, ou à la volonté d'améliorer les conditions de travail et l'organisation de l'exploitation. Ces motivations ont des conséquences sur la nature des trajectoires de diversification des exploitations agricoles, et sont étroitement liées aux apprentissages que les agriculteurs développent au cours de ces trajectoires. Les motivations liées aux échelles des systèmes de culture et des systèmes de production, et les apprentissages d'ordre organisationnel ou socio-économiques, conduisent les agriculteurs aux niveaux de diversité les plus élevés.

A chaque niveau d'organisation (itinéraire technique, système de culture, système de production) et pour chaque dimension (agronomique, économique, de travail), les motivations qui amènent les agriculteurs à développer et à maintenir des systèmes de culture diversifiés sont multiples.

(1) Au niveau de l'itinéraire technique de la culture de diversification : Les motivations des agriculteurs portent sur les performances de la culture de diversification par comparaison aux cultures déjà présentes sur l'exploitation : ces performances concernent le rendement et la marge de ces cultures, leur prix de vente, et les charges associées, mais également souvent leurs performances en termes de contrôle des adventices (en lien avec le calendrier de travail, la compétitivité des espèces cultivées, les herbicides autorisés), la sensibilité de la culture aux ravageurs, ou ses besoins en irrigation. Cette diversité de performances attendues des cultures n'est pas toujours prise en compte dans les travaux cherchant à quantifier les performances de cultures de diversification, mais différents travaux explorent leur importance (Preissel et al., 2015; Sodjahin et al., 2022).

(2) Au niveau de la succession de cultures : Les motivations des agriculteurs concernent très souvent des enjeux de gestion des adventices, de qualité du sol (fertilité, structure...) et de gestion des maladies. Les agriculteurs concernés attendent de l'allongement et de la modification des successions de culture une amélioration de ces paramètres. Dans le cas des trajectoires de type 3 (voir Chapitre 1), la diversité d'espèces est vue comme un moyen d'améliorer les propriétés de l'agroécosystème, en particulier en termes de régulations biologiques et de fertilité du sol, parfois dans le cadre d'une limitation du travail du sol ou d'une conversion à l'agriculture biologique. Ces motivations recourent les bénéfices attendus de la diversification dans la littérature scientifique (Beillouin et al., 2021; Isbell et al., 2017; Kremen and Miles, 2012).

(3) Au niveau de l'exploitation agricole et de ses ressources : Les motivations des agriculteurs sont liées au travail et à la répartition des ressources de l'exploitation entre les cultures et au cours de l'année. En termes de travail, les motivations des agriculteurs concernent le niveau de simplicité ou de complexité dans la gestion de leurs systèmes de culture, la distribution du travail au cours de l'année, la gestion des concurrences entre chantiers, la recherche d'un travail « intéressant », ou la curiosité autour de nouvelles cultures. Des ressources pour accompagner les agriculteurs dans cette gestion de systèmes complexes pour qu'elle réponde à leurs objectifs en termes de travail sont nécessaires (Delecourt et al., 2019; Lin, 2011; Merot and

Wery, 2017). La diversification s'inscrit également, dans certains cas, dans une recherche de réduction globale de l'utilisation d'intrants, pour des raisons économiques, de santé ou de différenciation (labellisation...), ou dans des stratégies de complémentarité avec le fonctionnement du système d'élevage lorsqu'il y en a un (revenu complémentaire ; vente des surplus d'une culture destinée à l'alimentation du troupeau). De nombreux travaux ont exploré les transitions d'exploitations vers la réduction d'intrants (Chantre et al., 2015; Lamine, 2011) et la complémentarité cultures-élevage (Coquil et al., 2014; Ryschawy et al., 2013) et fournissent des pistes pour accompagner de telles transitions.

La question des impacts de la production agricole sur l'environnement, centrale dans les articles académiques explicitant les enjeux de la diversification (Beillouin et al., 2021; Kremen and Miles, 2012), est peu explicitée comme telle par les agriculteurs. Ils évoquent cependant le rôle que jouent parfois, dans leur choix de diversifier, des préoccupations autour de la réduction d'intrants, de l'évolution des conditions climatiques et de la disponibilité en eau, ou des déséquilibres de biodiversité ayant une incidence sur les maladies, les ravageurs et les niveaux de régulation biologique. On retrouve ici dans une certaine mesure l'idée d'agriculteurs « *écologistes involontaires*²⁹ » (Marr and Howley, 2019) ou pratiquant une « *agroécologie silencieuse* » (Lucas et al., 2020). Parmi les effets démontrés de la diversification des cultures (Beillouin et al., 2021), les enjeux de qualité de l'eau et de biodiversité associée aux systèmes agricoles ne sont en revanche pas mentionnés par les agriculteurs que nous avons rencontrés.

On peut donc distinguer (i) des motivations relevant d'éléments externes à l'exploitation, correspondant à une diversification « tirée » par les acteurs (de l'aval, du conseil, ou les pouvoirs publics, à travers des contraintes ou des incitations), et (ii) des motivations internes, correspondant à une diversification « poussée » par les agriculteurs y voyant des intérêts agronomiques, économiques, de travail, etc. Si certaines motivations sont liées aux marchés (opportunités de contrats, prix de vente sur les marchés spot, subventions publiques...), et au souci de maximiser à court terme le revenu des exploitants, d'autres sont avant tout liées au fonctionnement des agroécosystèmes (effets précédents, systèmes à bas intrants ou biologiques, valorisation de différents types de sol/de parcelles), ou à la manière dont sont mobilisées les ressources de l'exploitation.

On peut faire l'hypothèse qu'il y a une différence de nature entre des motivations internes ou externes aux agriculteurs, les motivations internes semblant conduire à des changements plus pérennes que des motivations externes (Garini et al., 2017; Payne et al., 2019). Les motivations agronomiques « fortes » retrouvées dans les trajectoires de type 3 conduisent ainsi les agriculteurs à de plus hauts niveaux de diversité, avec des évolutions dans les cultures de diversification sans retour en arrière dans le niveau de diversité global. Il y a donc un enjeu important dans le fait de construire les conditions pour que les agriculteurs acquièrent des motivations « internes » à diversifier. Cet enjeu renvoie (i) aux apprentissages des agriculteurs qui s'approprient progressivement la diversification, et son évaluation, au fil de leur trajectoire ; et (ii) à l'autonomie décisionnelle des agriculteurs, qui apparaît comme une question cruciale pour la pérennité des changements qu'ils mettent en place. Nous avons vu (Discussion §1.2.1) l'importance que revêt l'autonomisation des agriculteurs dans les processus de diversification à l'échelle du territoire, en lien avec la question de la gouvernance de la diversification. En Vendée, dans le modèle de l'opérateur d'aval dominant, on constate que, si quelques agriculteurs impliqués dans le démarrage de la filière développent des apprentissages assez « poussés » sur les cultures de diversification, jouant ainsi un rôle de « pilotes », les autres

²⁹ "accidental environmentalists"

agriculteurs, dont les pratiques sont très cadrées par les cahiers des charges, apprennent surtout à « introduire » des cultures dans leurs systèmes. Les autres apprentissages qu'ils peuvent développer, sans avoir vraiment la possibilité de les mettre en œuvre du fait des contraintes imposées par le contrat, ne sont pas vraiment valorisés par ce modèle qui en devient moins attractif.

La diversification relève de trajectoires complexes. Il est indispensable de prendre en compte la temporalité de ces trajectoires et les apprentissages qui les accompagnent. En ce sens, élargir la gamme des « incitations » à la diversification apparaît nécessaire pour favoriser son développement dans les exploitations agricoles. Cela passe notamment (i) par la construction de conditions rendant la diversification intéressante sur les différents plans cités plus hauts (au niveau de la parcelle, de la succession de culture et de l'exploitation, et sur les plans agronomiques, de travail et de marchés), tout en s'adaptant aux contextes locaux et à la diversité des agriculteurs, et (ii) par l'accompagnement des agriculteurs qui diversifient dans leurs apprentissages, sur la manière dont la diversification peut être intégrée à leur système et sur l'évaluation de cette diversification.

2 DEMARCHE DE CARACTERISATION DES PROCESSUS DE DIVERSIFICATION DES CULTURES AU NIVEAU DES EXPLOITATIONS AGRICOLES ET DES TERRITOIRES

La démarche que nous avons suivie au cours de ce travail est originale tant du point de vue du dispositif de recherche que de la combinaison de cadres conceptuels et méthodologiques que nous avons mobilisés. Pour répondre à notre objectif – identifier des moyens de développer la diversification dans les exploitations agricoles et dans les territoires – nous nous sommes appuyés sur une analyse compréhensive, dans des territoires aux caractéristiques contrastées, de la coévolution des systèmes agricoles, des pratiques de différents acteurs et de différentes catégories d'acteurs. Nous nous proposons de revenir sur le choix de nous appuyer sur des expériences de diversification existantes pour constituer notre dispositif de recherche (Discussion §2.1), puis sur les cadres d'analyse choisis pour rendre compte de la complexité des mécanismes de la diversification (Discussion §2.2).

2.1 S'appuyer sur des expériences existantes

Notre dispositif de recherche repose sur l'analyse de situations dans lesquelles, au sein de systèmes agri-alimentaires tournés vers la spécialisation régionale des productions et des cultures, se sont développées des expériences de diversification. En nous intéressant à des situations atypiques vis-à-vis du fonctionnement des systèmes agri-alimentaires dominants, et dans l'objectif de comprendre et de favoriser plus largement de telles situations, nous nous situons dans une perspective d'analyse des *changements interstitiels*. Blesh et Wolf (2014) la décrivent comme suit : « nous soutenons qu'une compréhension détaillée de ces alternatives émergentes est importante précisément en raison de la nécessité de donner davantage d'espace politique et académique pour prendre ces expériences au sérieux. Bien que peu nombreux, nous considérons que ces agriculteurs alternatifs et leurs réseaux constituent une force. Ils représentent des changements, expérimentations, apprentissages et innovations interstitielles (Wright, 2010) qui se produisent dans le contexte socio-écologique de la région. En s'appuyant sur un ensemble diversifié de motivations et de ressources, et en contribuant à répondre aux perturbations socio-écologiques, ces petits changements sont à même de catalyser un changement systémique (Allen, 2004; Wright, 2010)³⁰ ». Cette approche renvoie également à l'analyse de niches d'innovation dans une perspective de transition sociotechnique (Geels and Schot, 2007; voir section 3.1 ci-dessous).

Pour répondre à notre objectif de comprendre les mécanismes par lesquels des situations de diversification atypiques se développent au sein de systèmes dominants spécialisés, nous avons choisi d'étudier une diversité de situations contrastées, plutôt qu'un échantillon représentatif. Nous avons procédé de cette manière à chaque étape de construction du

³⁰ "we argue that a detailed understanding of these emerging alternatives is important precisely because of the need to create more political and academic space for taking these approaches seriously. Though few in number, we identify these alternative farmers and their networks as powerful. They represent interstitial change (Wright 2010), experimentation, learning and innovation occurring within the socioecological context of the region. By drawing on a diverse set of justifications and resources, and contributing to responses to socioecological stresses, these small changes have the potential to catalyze systemic change (Allen 2004; Wright 2010)"

dispositif de recherche, dans le choix des territoires d'étude comme dans le choix des acteurs enquêtés au sein de chaque territoire. Le choix de nos territoires d'étude s'est ainsi porté sur des régions situées dans différents pays européens, avec des contextes institutionnels et pédoclimatiques variés. Nous avons également choisi des territoires qui semblaient, d'après les statistiques agricoles et de premiers échanges avec des acteurs de ces territoires, présenter une diversification plus « avancée » que d'autres territoires du réseau européen de DiverIMPACTS, avec une diversité d'espèces de diversification. Lors de la recherche et de la sélection d'acteurs à enquêter, cette diversité interne aux territoires d'étude nous a permis de faire varier autant que possible les modalités de diversification étudiées. Ce dispositif de recherche nous a finalement permis de développer des comparaisons entre différentes situations de diversification au sein de chaque territoire, et des comparaisons des territoires entre eux. C'est en rendant compte des mécanismes de la diversification (voir Discussion §2.2) dans cette diversité de situations que l'on a cherché à rendre notre analyse pertinente pour d'autres situations.

Le développement de ce dispositif de recherche a été permis par l'intégration de la thèse dans un programme de recherche européen visant (i) l'accompagnement vers la diversification d'un ensemble de cas d'étude, et (ii) l'aide à la décision publique (Messéan et al., 2021). Ce contexte de recherche nous a conduit à produire, au cours de la thèse, différents livrables (destinés aux acteurs des « cas d'étude » et/ou aux commanditaires européens du programme), sur lesquels nous reviendrons plus loin (Discussion §3).

2.2 Rendre compte de la complexité des mécanismes de la diversification

Nous avons montré (Partie 1 – Problématique de recherche) que les enjeux de la diversification des cultures dans les exploitations agricoles et les territoires appelaient à une analyse à la fois systémique et dynamique. Le point de départ de notre analyse a été la compréhension de l'évolution des pratiques des agriculteurs engagés dans des trajectoires de diversification, et de leurs logiques d'action. Rendre compte, dans le cadre de la diversification, de ces logiques d'action des agriculteurs, c'est-à-dire des déterminants de leurs pratiques, nous a conduit à analyser plus particulièrement les interactions entre les agriculteurs et leur territoire du double point de vue de la commercialisation des productions végétales de l'exploitation et des connaissances et des apprentissages des agriculteurs.

Nous avons donc développé trois angles d'analyse complémentaires : analyse des pratiques des agriculteurs et de leurs déterminants (Chapitre 1), analyse des systèmes d'approvisionnement territoriaux (Chapitre 2), et analyse des processus d'apprentissage des agriculteurs (Chapitre 3). Ces trois objets sont interdépendants, et leurs évolutions associées dans le cadre de la diversification des cultures se déroulent sur des périodes de temps longues (plusieurs années, souvent plus de dix ans). L'enjeu était donc de comprendre la coévolution, au cours du temps, de ces trois objets de recherche, ainsi que leurs cohérences, interactions et complémentarités à l'échelle d'un territoire.

2.2.1 Caractériser les trajectoires de diversification des agriculteurs

Nous avons caractérisé les trajectoires de diversification des cultures d'une diversité d'exploitations agricoles localisées dans trois territoires européens. Pour ce faire, nous nous

sommes appuyés sur des travaux d'agronomes portant sur la caractérisation des trajectoires de changements de pratiques des agriculteurs (Chantre et al., 2015; Dupré et al., 2017). Mais, en rupture avec ces travaux qui caractérisaient respectivement des niveaux de réduction d'intrants, ou un indicateur de gestion agroécologique, nous avons choisi de caractériser les trajectoires de diversification des agriculteurs par un ensemble large d'indicateurs ; les niveaux de diversification attendus et la manière de les caractériser n'étaient pas définis a priori. Nous avons caractérisé l'évolution de ces indicateurs liés à l'assolement sur un pas de temps annuel, en prenant pour point de départ ce que l'agriculteur considérait comme le début de la diversification sur son exploitation agricole. A partir de cette caractérisation, nous avons pu calculer des vitesses d'évolution de ces indicateurs, ou des rapports entre niveau de diversité initial et niveau de diversité au moment de l'enquête, nous permettant de comparer des trajectoires aux temporalités différentes.

Nous avons fait le choix de caractériser des trajectoires de cette façon parce que l'objet que l'on cherchait à caractériser, la diversification, correspond dans la réalité à une très large gamme de pratiques possibles pour les agriculteurs, en termes d'espèces cultivées ou d'arrangements spatial ou temporel des cultures. Cette approche nous a permis de distinguer des agriculteurs introduisant quelques cultures de diversification sur des surfaces importantes (trajectoires de type 2) et des agriculteurs introduisant une grande diversité de cultures sur des surfaces limitées (trajectoires de type 3). Un indicateur de diversité agrégé (par exemple l'indice de Shannon) n'aurait pas pu rendre compte seul de cette distinction. Notre caractérisation des trajectoires de diversification des cultures a également intégré une mise en contexte, au niveau de chaque territoire, des pratiques développées par les agriculteurs, à travers (i) l'identification des cultures « principales », différant selon le territoire, et (ii) l'utilisation d'indicateurs discriminant les cultures présentes dans l'assolement d'une exploitation selon qu'il s'agit de cultures principales ou non. Nous nous situons ainsi dans une approche complémentaire des travaux récents qui proposent de dépasser les indicateurs de biodiversité (Bockstaller et al., 2011) pour caractériser de manière plus complète la diversité des systèmes de culture (Keichinger et al., 2021).

Cette approche de la caractérisation des trajectoires constitue à notre connaissance une démarche originale d'analyse des trajectoires de changements de pratiques des agriculteurs. Comme toutes les démarches de reconstitution a posteriori des changements, notre approche présente des limites liées à la reconstruction de l'histoire de l'exploitation par les agriculteurs enquêtés. Nous avons essayé de limiter ces biais en demandant aux agriculteurs de s'appuyer, lorsque c'était possible, sur les documents dans lesquels ils consignent chaque année leurs assolements.

Dans la perspective d'un repérage, d'un suivi ou d'un accompagnement de pratiques de diversification, les indicateurs que nous avons proposés pour caractériser la diversification nous semblent intéressants :

(1) D'une part, pour distinguer diversification « spécialisée » (quelques cultures sur des surfaces importantes) et diversification « de gamme » (de nombreuses cultures ne représentant pas nécessairement des surfaces importantes), qui sont généralement associés à des motivations, à des attentes et à des fonctionnements différents de la part des agriculteurs. Les effets agronomiques respectifs de ces deux types de diversification seraient intéressants à comparer.

(2) D'autre part, pour resituer les cultures présentes sur une exploitation agricole vis-à-vis des systèmes de culture dominants et des filières existantes sur le territoire, ce qui permet de renseigner sur la contribution de cette exploitation à la diversification du paysage local, et

éventuellement de repérer des agriculteurs mobilisant des systèmes d'approvisionnement atypiques sur le territoire.

Cependant, l'utilisation de ce type d'indicateurs pour analyser ou favoriser la diversification dans les territoires européens nécessiterait une caractérisation plus fine, dans les statistiques agricoles des pays de l'Union Européenne, des espèces mineures cultivées par les agriculteurs, qui sont souvent regroupées par familles ou sous-familles de cultures et ne permettent pas d'apprécier la diversité réelle des cultures sur un territoire.

Nous nous sommes focalisés dans ce travail sur les cultures de diversification destinées à la vente. L'intégration cultures-élevage au niveau de l'exploitation ou l'utilisation de plantes de service sont d'autres leviers efficaces pour la diversification des cultures au niveau des exploitations et des territoires, qui ont été étudiés dans d'autres travaux (Roesch-McNally et al., 2018b; Ryschawy et al., 2017, 2013; Wayman et al., 2017). Les exploitations que nous avons étudiées mettent fréquemment en œuvre d'autres pratiques de diversification que celles à vocation commerciales : couverts, prairies temporaires ou permanents, mélanges d'espèces ou variétaux, infrastructures agroécologiques dans les zones non productives. Casagrande et al. (2017) ont montré comment les agriculteurs mobilisent des combinaisons de pratiques augmentant la diversité cultivée et associée, et mis en évidence des leviers qui recoupent ceux que nous avons étudiés : main d'œuvre et équipement, débouchés, et réseaux d'échange. Nous pouvons faire l'hypothèse que les mécanismes de diversification (incluant les motivations et les ressources mobilisées par les agriculteurs) et d'apprentissages que nous avons mis en évidence dans ce travail s'appliquent en partie à d'autres pratiques de diversification. L'absence de valorisation commerciale directe de plantes de couverts ou destinées à l'élevage intra-exploitation implique cependant que d'autres acteurs que les opérateurs de l'aval (acteurs du conseil, acheteurs des productions animales, groupes de développement...) prennent en charge les activités d'accompagnement à la diversification (apport de ressources cognitives et matérielles) que nous avons décrites dans les trajectoires de diversification de type 2 (Chapitre 1) et les systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval (Chapitre 2).

2.2.2 Caractériser les interactions agriculteurs – aval pour l'approvisionnement des cultures de diversification

Le concept de système d'approvisionnement nous a permis de caractériser les modalités d'interactions entre agriculteurs et acteurs de l'aval des filières dans le cadre de la diversification.

L'analyse des systèmes d'approvisionnement a initialement été pensée pour la gestion de la qualité des productions végétales (Le Bail, 2005 a, b), sur le territoire d'un bassin d'approvisionnement, qui correspond à « l'ensemble des parcelles portant une même culture et dont les récoltes sont livrées à un même opérateur pour une campagne de production donnée ». L'analyse d'un système d'approvisionnement consiste alors à caractériser les interrelations entre (i) le bassin d'approvisionnement, (ii) les attentes et règles de décision respectives des agriculteurs et des premiers opérateurs de l'aval, et (iii) les modalités de coordination de ces acteurs. Ces modalités de coordination incluent notamment les engagements respectifs entre les agriculteurs et les premiers opérateurs de l'aval, et les procédures mises en place en vue d'atteindre les objectifs de production fixés par les uns et les autres. Ce cadre d'analyse a été mobilisé pour la proposition de diagnostics agronomiques de l'élaboration de la qualité au niveau du bassin d'approvisionnement, visant en particulier à

expliquer les variabilités interparcellaires et interannuelles et leurs effets sur la qualité des récoltes (Le Bail et al., 2005; Le Bail and Meynard, 2003), et pour la proposition de leviers d'innovation technique à différentes échelles, permettant d'atteindre certains objectifs de qualité (Navarrete et al., 2006).

Dans ce travail, notre objectif était de rendre compte de la diversité des modalités de gestion des systèmes d'approvisionnement associés aux cultures de diversification, et de leurs impacts sur les dynamiques de diversification des exploitations agricoles et des territoires. La perspective de comparaison des systèmes d'approvisionnement, l'objectif de rendre compte de la coexistence d'une diversité de systèmes d'approvisionnement sur un territoire régional, et le fait de questionner les interactions entre systèmes d'approvisionnement et dynamiques de diversification des cultures, nous ont amenés à proposer différents ajustements au cadre d'analyse des systèmes d'approvisionnement.

Notre point d'entrée pour la caractérisation des systèmes d'approvisionnement, leur comparaison et leur regroupement en types, a été l'analyse des modalités de coordination entre agriculteurs et premiers opérateurs de l'aval. Plus précisément, nous avons caractérisé la manière dont les acteurs des systèmes d'approvisionnement prennent des décisions sur les objectifs de production associés aux cultures de diversification, et sur les procédures à mettre en œuvre pour atteindre ces objectifs. Nous avons fait ce choix car il nous semblait, suite aux enquêtes réalisées auprès des acteurs, le plus à même de rendre compte de la diversité des systèmes d'approvisionnement des cultures de diversification et de leurs effets sur les dynamiques de diversification des exploitations agricoles et des territoires.

Nous avons alors caractérisé, pour un ensemble de systèmes d'approvisionnement dans les trois territoires d'études, les modalités de coordination entre agriculteurs et premiers opérateurs de l'aval, et leurs interrelations avec :

- (1) Les modalités de gestion des incertitudes sur la production ;
- (2) Les modalités de production et circulation des connaissances ;
- (3) Les dynamiques de développement et stabilisation des filières associées aux systèmes d'approvisionnement considérés ;
- (4) Les conséquences des caractéristiques des systèmes d'approvisionnement étudiés pour les exploitations agricoles, en particulier leurs assolements et leurs dynamiques de diversification.

Les points (1) et (2) relèvent des modalités de coordination des acteurs et des procédures qu'ils mettent en place pour atteindre leurs objectifs de production. Les points (3) et (4) caractérisent plus précisément les interactions entre gestion du système d'approvisionnement et dynamiques de diversification des exploitations agricoles et des territoires.

Dans un deuxième temps, nous sommes passés de l'analyse comparative de l'ensemble de systèmes d'approvisionnement des trois territoires, à l'analyse des interactions entre systèmes d'approvisionnement au sein de chacun de ces territoires, évoluant de l'échelle du bassin d'approvisionnement à celle de la région agricole. A travers l'analyse des relations entre systèmes d'approvisionnement d'un territoire et dynamique de diversification de ce territoire, nous apportons une contribution à l'agronomie des territoires, au sens de l'agronomie du fait technique à l'échelle régionale (Caron, 2005), qui « *[rend] compréhensibles les pratiques agricoles en explicitant les interdépendances entre les systèmes de culture pratiqués et l'aménagement des territoires* » (Papy, 2001). Nous contribuons également à l'analyse et à la compréhension des systèmes agri-alimentaires territoriaux (Lamine et al., 2019), et de la

manière dont les interactions entre agriculteurs et filières influencent ces systèmes agri-alimentaires.

2.2.3 Caractériser les apprentissages des agriculteurs

Nous avons traité, dans un troisième chapitre, des apprentissages des agriculteurs liés à la diversification, en nous efforçant de comprendre les interactions entre ces apprentissages, les trajectoires de changements de pratiques des agriculteurs, et leurs modalités d'interaction avec leur environnement (aval des filières, conseil, pairs). Pour mener à bien cette analyse des apprentissages, nous avons mobilisé une caractérisation des processus d'apprentissage des agriculteurs, décomposés en différentes phases (mise en alerte, mise en œuvre, évaluation), reprenant ainsi des cadres d'analyse déjà mobilisés dans d'autres travaux (en particulier Catalogna et al., 2018; Chantre et al., 2014; Cristofari et al., 2018).

Seules quelques adaptations liées à notre objet de recherche ont été nécessaires, en particulier pour prendre en compte les dimensions organisationnelles et socio-économiques des apprentissages associés à la diversification des cultures. La mise en relation des processus d'apprentissage avec les trajectoires de changements de pratiques des agriculteurs est moins stabilisée, en particulier parce que les échelles de temps considérées pour caractériser, d'une part, l'articulation des processus d'apprentissage, et d'autre part, les trajectoires de changements de pratiques des agriculteurs, ne sont pas les mêmes. La difficulté consiste à rendre compte finement de l'articulation entre les différents processus d'apprentissage, et dans le même temps à rendre compte de la manière dont ces apprentissages interviennent dans les changements de pratiques sur le long terme (Catalogna et al., 2022). Pour notre part, nous n'avons pas cherché à reconstituer précisément la manière dont les processus d'apprentissage des agriculteurs s'articulaient entre eux. Nous avons plutôt cherché à décrire différents styles d'apprentissage, et analysé comment ils intervenaient sur le temps long, comme facteur discriminant des trajectoires de diversification.

Notre analyse des apprentissages des agriculteurs qui diversifient permet finalement de rendre compte :

(1) de la temporalité avec laquelle les agriculteurs acquièrent de nouvelles connaissances, de ce sur quoi portent les connaissances acquises, et de la manière dont interviennent différents acteurs externes à l'exploitation dans la prise en main par les agriculteurs de systèmes de culture plus diversifiés.

(2) de l'évolution, au cours des trajectoires de diversification, des problématiques rencontrées par les agriculteurs, des niveaux de fonctionnement de l'exploitation sur lesquels elles portent, et de la manière dont les agriculteurs arrivent, ou non, à les résoudre.

Nos résultats montrent que les modalités d'apprentissage des agriculteurs sont variables selon les types de trajectoires de diversification dans lesquelles ils sont engagés, (i) en fonction des types de systèmes d'approvisionnement dans lesquels ils commercialisent les produits de la diversification, et de l'accompagnement que leur apportent les opérateurs de l'aval ou de l'autonomie dont ils bénéficient dans leurs pratiques ; et (ii) en fonction du niveau de diversification correspondant à ces trajectoires, et de la complexité de gestion du système de production qui y est associée.

3 LEVIERS POUR LA DIVERSIFICATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES ET DES TERRITOIRES

Nous avons proposé dans ce travail, en vue d'identifier des leviers pour la diversification des exploitations agricoles et des territoires, une démarche de recherche originale appuyée sur l'analyse systémique et dynamique d'expériences existantes de diversification des cultures. Cette analyse nous permet de mettre en évidence la manière dont les acteurs des systèmes agricoles surmontent les obstacles à la diversification dans une variété de situations, et la cohérence entre les différents leviers mobilisés par ces acteurs pour diversifier. Nous proposons ici de discuter des éclairages que ces résultats apportent sur les moyens de « déverrouiller » les systèmes sociotechniques organisés autour de systèmes de culture simplifiés (§3.1 de la discussion), et sur le rôle que différents acteurs des systèmes agricoles peuvent jouer pour soutenir la diversification (§3.2 de la discussion).

3.1 Déverrouiller : leviers de transition des systèmes sociotechniques vers la diversification des cultures

La théorie multiniveaux des transitions sociotechniques (Geels and Schot, 2007) postule que les verrouillages rencontrés au niveau du régime sociotechnique – constitué de l'ensemble des acteurs du système dominant, et de leurs interactions au sein des institutions et des infrastructures existantes – peuvent être dépassés sous l'influence conjuguée de deux autres niveaux d'organisation : (i) le paysage sociotechnique, qui constitue le contexte socio-politique, dans lequel ce système évolue, et qui peut le contraindre ; (ii) de systèmes sociotechniques partiellement dégagés de l'influence du régime, les niches d'innovation, qui peuvent sous certaines conditions déverrouiller le régime dominant en s'hybridant avec lui.

On peut considérer la diversification des cultures au sein d'un territoire comme une transition vers un système agri-alimentaire reconçu, plus diversifié et plus agroécologique. La nouvelle « technologie » que l'on envisage n'est alors pas une culture de diversification donnée, mais bien un fonctionnement différent des systèmes agri-alimentaires, basés sur des systèmes de culture diversifiés. Le « déverrouillage » vers la diversification peut alors être envisagé sous l'angle de la théorie multiniveaux : « *La théorie des transitions conduit à proposer de mobiliser simultanément et de manière coordonnée deux grandes catégories de leviers : (i) **développer des niches d'innovation**, lieux de réalisation des processus d'apprentissage et de construction de nouveaux réseaux économiques ; ces niches auront vocation à abriter la construction et la consolidation de filières de diversification ; (ii) **inciter le régime sociotechnique standard à évoluer**, à ouvrir des fenêtres d'opportunité, à la faveur desquelles certaines filières de diversification pourront se développer et dépasser le statut de niche, voire s'hybrider avec le régime standard en contribuant ainsi à son évolution (c'est à dire à sa transition)* » (Meynard et al., 2013).

3.1.1 Inciter le régime sociotechnique standard à ouvrir des fenêtres d'opportunité

En préalable à une réflexion sur la diversification, il est indispensable de comprendre quelle place occupent les cultures principales d'un territoire dans les systèmes agri-alimentaires et dans les représentations des acteurs. Roesch-McNally et al. (2018a) le soulignent bien dans le

cas de la *Corn Belt* aux Etats-Unis : l'un des obstacles majeurs à la diversification des cultures est le fait que « *le maïs est roi* » (« *Corn is King* »).

Nous avons constaté sur nos territoires que certaines cultures principales sont considérées comme prioritaires et incontournables par les acteurs, tandis que d'autres occupent des rôles plus secondaires : le blé tendre en Vendée et en Scanie, et le blé dur dans les Marches, sont considérés comme la culture prioritaire par la plupart des agriculteurs, tandis que le maïs (Vendée), l'orge (Scanie) ou le tournesol (Marches) sont souvent plus secondaires. On peut faire l'hypothèse que l'importance de ces cultures est liée à l'histoire du verrouillage autour des cultures principales, dans laquelle la production de céréales a été prioritairement soutenue par les politiques agricoles européennes (Magrini et al., 2016; Meynard et al., 2018). Les cultures principales s'accompagnent également d'un positionnement des régions étudiées vers l'exportation de ces cultures (dans le cas de la Vendée et des Marches), ou vers la réponse à la demande nationale (dans le cas de la Scanie).

Diversifier dans un territoire implique donc de se poser la question de la part que représenteraient ces cultures « prioritaires » dans des systèmes agri-alimentaires diversifiés – et donc des productions dont les volumes diminueraient. On retrouve également ici la question de l'équilibre à trouver entre circuits locaux et productions localisées mais exportées.

La différenciation des produits par la qualité, la création de nouvelles filières qui se positionnent sur des marchés de niche, peuvent dans une certaine mesure être considérées comme partie intégrante du régime standard. Elles s'inscrivent dans un fonctionnement global « d'économie de la qualité » fondé sur la segmentation des marchés (Lagrange and Valceschini, 2007). Dans nos territoires d'étude, la différenciation des productions concerne à la fois les cultures principales, pour lesquelles les acteurs des filières développent différents segments de marché, et les cultures de diversification, qui peuvent faire l'objet de labellisations. La diversification s'appuie alors sur un certain nombre de niches de marché « enchâssées » dans le régime, sur lesquelles nous reviendrons dans la prochaine section. Passos Medaets et al. (2020) montrent ainsi comment deux systèmes de labellisation, GAP (*Good Agricultural Practices*) et agriculture biologique, se développent au Brésil avec plus ou moins de « compatibilité » avec le fonctionnement du régime dominant : là où la certification GAP implique un « ajustement » des pratiques au sein du régime dominant, la certification biologique conduit à des « défauts d'alignement » avec le régime qui freinent le développement et la pérennisation des systèmes de production biologique.

Les dynamiques de diversification des territoires sont aussi liées, en partie, au développement de cultures qui sont mineures sur ces territoires, mais qui concernent des volumes importants sur les marchés mondiaux, et qui peuvent donc se rattacher aux normes, aux pratiques définies à l'échelle de ces marchés mondiaux. C'est en particulier le cas des systèmes d'approvisionnement coordonnés par les marchés.

Le développement de productions issues de cultures de diversification dans le cadre des marchés mondiaux (*changing from within*) implique que ces productions se conforment aux attentes et aux infrastructures associées, en particulier en proposant des volumes importants et des produits standardisés (Morel et al., 2020). Nous avons observé ce phénomène dans les territoires étudiés avec le développement de cultures de diversification à destination industrielle et pour l'export, sur des surfaces importantes et avec des cahiers des charges détaillés : pour la production de sucre ou d'amidon en Scanie, de pois surgelé dans les Marches. En cohérence avec les premières conclusions de Morel et al. (2020), nous avons montré que le développement d'expériences de diversification « compatibles » avec le régime dominant fait

face à la rentabilité des systèmes actuels, et à un déséquilibre de pouvoir entre l'agro-industrie et les agriculteurs. Les acteurs interrogés par Morel et al. s'inscrivant dans une perspective de diversification au sein du régime dominant (*changing from within*) considéraient par ailleurs qu'il serait difficile de différencier des productions issues de la diversification, sur la base de bénéfices de santé ou environnementaux, pour des productions commercialisées sur des marchés mondiaux commodifiés.

La rentabilité des systèmes spécialisés, si elle reste globalement validée par les acteurs de nos territoires d'étude, n'est pas acquise pour toutes les conditions de production : les agriculteurs qui diversifient le font majoritairement parce qu'ils identifient des problèmes dans le fonctionnement de leurs systèmes de production, liés à une culture principale ou à un système de culture simplifié. Les incertitudes climatiques, de marchés (prix des productions agricoles), d'accès à différentes ressources (irrigation, énergies fossiles), constituent autant de sources possibles de déstabilisation du régime sociotechnique standard. Les choix politiques ou économiques de localisation des productions à l'échelle nationale ou internationale (par exemple pour la production de sucre ou de pois surgelés) ont également un impact majeur sur le régime standard à l'échelle régionale.

3.1.2 Développer des niches d'innovation

Les travaux sur la gestion stratégique des niches d'innovation (Schot and Geels, 2008) mettent en avant trois grands facteurs de succès dont la combinaison est nécessaire pour l'émergence des niches et leur hybridation avec le régime dominant. Nous proposons ici de discuter de la manière dont ces facteurs se traduisent dans les expériences concrètes de diversification que nous avons observées, en nous intéressant plus particulièrement au modèle « agriculteurs » de diversification, qui nous semble le plus proche de la définition des niches d'innovation.

(1) Des attentes précises et partagées entre les différents acteurs de la niche.

Dans nos territoires d'étude, nous avons observé différentes situations dans lesquelles des réseaux d'acteurs se constituaient autour du développement d'une ou plusieurs cultures de diversification : agriculteurs et conseillers travaillant avec l'entreprise 44-IAA-Sc autour de la production de légumes secs et d'autres cultures mineures pour l'alimentation humaine ; coopératives créées par des agriculteurs en agriculture biologique dans les Marches ; polyculteurs-éleveurs et Civam travaillant avec l'industrie 03-IAA-Ve pour la production de légumes de plein champ. Ces dispositifs multi-acteurs constituent alors le lieu de partage des attentes respectives des différents acteurs, et de coordination des objectifs de production. Dans le cas des filières de diversification développées avec l'industrie 03-IAA-Ve, ces négociations se sont traduites par la signature d'une « charte » commune aux agriculteurs et à l'industriel. De manière générale, comme cela avait déjà été souligné pour les innovations de type *Building outside* par Morel et al. (2020), les réseaux d'acteurs constitutifs de niches d'innovation autour de la diversification se construisent souvent, précisément, autour d'attentes partagées par différents acteurs : dans nos cas, il s'agit par exemple des controverses autour du modèle « aval », de la recherche d'autonomisation des agriculteurs, d'une volonté de réduire le nombre d'intermédiaires dans les circuits de commercialisation, de développer des circuits locaux, ou encore des modes de production plus durables. Les défis rencontrés par ces initiatives sont plutôt d'ordre organisationnel, liés à la coordination des systèmes d'approvisionnement et aux dispositifs (contractuels ou non) à mettre en place pour organiser cette coordination, ainsi qu'à l'organisation des activités post-récolte, logistiques, de transformation, et de commercialisation.

(2) L'inclusion dans la niche d'innovation d'une multitude d'acteurs, influents au sein de leurs réseaux respectifs.

L'inclusion de différents acteurs se fait dans le cadre des dispositifs de coordination dont nous venons de parler. Les agriculteurs voulant développer des filières de diversification cherchent à identifier et à nouer des partenariats avec les acteurs (transformateurs, distributeurs, R&D...) qu'ils estiment pertinents pour consolider le développement de leurs systèmes d'approvisionnement. « L'influence » de ces acteurs est renforcée dans le cas des dynamiques de diversification qui s'intègrent dans des niches préexistantes. Dans le cas des filières de diversification développées par l'opérateur 01-OCS-Ve, c'est directement l'acteur de la collecte dominant dans la région qui pilote un nombre important de systèmes d'approvisionnement de diversification. L'agriculture biologique, l'agriculture de conservation des sols ou les systèmes d'indications géographiques constituent d'autres « niches » plus larges qui contribuent à structurer les dynamiques de diversification dans nos territoires d'étude.

Belmin et al. (2018a) ont montré comment les caractéristiques des indications géographiques peuvent permettre le maintien dans le temps de niches aux pratiques différentes de celles du régime sociotechnique. Face au risque de spécialisation lié aux indications géographiques que nous avons évoqué plus haut (Discussion §1.2.2), l'inscription plus nette d'objectifs de diversité dans les cahiers des charges de ces indications géographiques serait une piste de renforcement des dynamiques de diversification associées aux indications géographiques. Les collectifs d'agriculteurs travaillant sur des pratiques d'agriculture de conservation des sols font également partie de réseaux, souvent d'échelle nationale voire internationale, dans lesquels s'inscrivent les agriculteurs qui diversifient leurs cultures. Nous avons en particulier rencontré des agriculteurs s'inscrivant dans ces réseaux en Vendée et en Scanie. Vankeerberghen et al. (2014) ont montré comment les réseaux de l'agriculture de conservation constituent une forme de modèle alternatif de production agricole, grâce auquel les agriculteurs se « détachent » progressivement du régime dominant. L'attention que ces agriculteurs portent à l'état des sols et les apprentissages qu'ils développent en interaction avec des pairs contribuent à leurs trajectoires de diversification.

Enfin, les dynamiques de diversification de nos trois territoires d'étude, et particulièrement celle des Marches, sont liées au développement de l'agriculture biologique, dont les principes conduisent les agriculteurs à rechercher une plus grande diversité dans leurs systèmes de culture. La « niche » de l'agriculture biologique constitue un soutien pour les agriculteurs qui diversifient en leur permettant d'accéder à des débouchés pour une plus grande diversité de cultures et à des prix supérieurs à ceux de l'agriculture conventionnelle. Nous avons cependant observé dans les Marches que les coopératives spécialisées dans l'agriculture biologique reposaient elles aussi avant tout sur les filières de blé dur, et de quelques autres céréales. Ces coopératives s'efforcent pour la plupart de proposer des contrats garantissant des prix « justes » aux agriculteurs pour d'autres productions, en particulier pour des légumineuses, mais peinent à structurer des filières sur le long terme pour ces productions. Seufert et al. (2019) soulignent bien que les systèmes de production biologiques ne sont pas complètement à l'abri des dynamiques de spécialisation et de verrouillage autour des cultures dominantes. Le développement de l'agriculture biologique contribue cependant à faire évoluer les pratiques et les normes d'un certain nombre d'acteurs de l'aval, de plus en plus sollicités par les agriculteurs pour intégrer la collecte de productions biologiques à leurs activités, et donc pour gérer une plus grande diversité d'espèces collectées. En ce sens, « *l'agriculture biologique peut contribuer de manière significative à une trajectoire allant vers une production alimentaire plus*

diversifiée, non seulement à travers la diversification au sein des systèmes biologiques, mais aussi en apportant des enseignements sur les systèmes agricoles diversifiés à l'agriculture conventionnelle³¹ » (Seufert et al., 2019).

(3) La mise en place de processus d'apprentissage qui modifient non seulement les connaissances et références disponibles pour les acteurs impliqués dans les niches, mais également leurs cadres de pensée.

Nous avons observé, dans les différents types de systèmes d'approvisionnement des cultures de diversification, autant de dispositifs de production et de circulation des connaissances autour de la diversification. Il est plus difficile de saisir, notamment avec l'approche rétrospective que nous avons adoptée, la manière dont les principes et les cadres de pensée des acteurs impliqués dans la diversification ont évolué, comme Chantre et al. (2014, 2013) ou Cristofari et al. (2018) l'ont fait sur d'autres questions de transition agroécologique. Nous avons cependant montré, par exemple, que les agriculteurs engagés dans des trajectoires de diversification de type 1 (faible diversification), 2 (augmentation des surfaces de cultures de diversification de vente) ou 3 (augmentation forte du nombre de cultures) n'ont pas la même manière d'évaluer et de concevoir leurs systèmes de culture. Là où les critères d'évaluation des premiers concernent principalement la comparaison de performances à l'échelle de la culture, ceux des agriculteurs engagés dans des trajectoires de type 3 englobent les systèmes de culture dans leur ensemble, et leurs propriétés vis-à-vis des régulations biologiques ou de la fertilité des sols.

Nous avons également montré que les acteurs des filières engagés dans différents types de systèmes d'approvisionnement des cultures de diversification n'ont pas la même manière de travailler avec les agriculteurs (systèmes d'approvisionnement coordonnés par l'aval vs. co-construits entre agriculteurs et aval), de réfléchir à la gamme de cultures qu'ils collectent (opérateurs spécialisés sur une culture vs. coopératives développant des débouchés pour un ensemble de cultures). Ces acteurs des filières ne se donnent pas non plus tous les mêmes critères de satisfaction en lien avec la diversification : cela se traduit par les obligations de moyens ou de résultats fixées aux producteurs, par la formalisation plus ou moins importante des engagements entre agriculteur et collecteur, ou encore par le choix de collecter ou non des productions pour lesquelles les circuits de commercialisation à l'aval sont jugés peu satisfaisants par l'opérateur de collecte.

Nous avons montré, enfin, que certains acteurs du conseil ne s'engageaient pas dans l'accompagnement des agriculteurs autour des cultures de diversification de vente, cet accompagnement étant « laissé » aux opérateurs des filières. A l'inverse, d'autres structures de conseil développent un accompagnement des agriculteurs à l'identification de débouchés pour des cultures de diversification, à la gestion des contrats avec l'aval, à la conception d'assolements en lien avec une gamme de débouchés identifiés, voire à la constitution de réseaux pour la création de nouvelles filières.

Les niches d'innovation autour de la diversification suivent donc des trajectoires différentes, selon qu'elles évoluent en parallèle du régime dominant (cas des indications géographiques qui ont vocation à « rester » des niches), qu'elles se constituent par détachement progressif du

³¹ Organic agriculture may thus provide important contributions for a trajectory for moving toward more diversified food production, not only through diversification occurring within organic systems, but also by providing important lessons on diversified agricultural systems for conventional agriculture

régime dominant (à l'image des collectifs cherchant à pratiquer une agriculture de conservation des sols), ou qu'elles conduisent à des hybridations avec le régime dominant. D'autres niches de diversification restent très limitées par des incompatibilités fortes avec les standards du régime dominant : c'est le cas des échanges entre agriculteurs que nous avons identifiés dans les trois territoires, ou des associations de culture, qui restent très limitées dans les cultures de vente. Ces deux modalités de diversification et les barrières, notamment réglementaires, auxquelles elles font face ont également été décrites par Morel et al. (2020).

3.1.3 Influences du paysage sociotechnique

Les initiatives de diversification que nous avons caractérisées dans les trois territoires d'étude de cette thèse semblent peu soutenues par le « paysage sociotechnique ». Les « pressions » du paysage conduisant à des déstabilisations du régime (Geels and Schot 2007) restent peu marquées, et les évolutions des politiques publiques ou des comportements alimentaires ont peu remis en cause la spécialisation. Magrini et al. (2019) soulignent au contraire que le développement des usages non alimentaires des principales espèces cultivées, en particulier les biocarburants, ont renforcé le verrouillage technologique autour de ces espèces.

On peut faire l'hypothèse que l'évolution des comportements alimentaires vers davantage de consommation de produits biologiques, ou de légumes secs, a un effet favorable pour la diversification, même s'il nous est difficile de le quantifier. Les primes associées à la production de certaines cultures mineures, décidées nationalement ou régionalement, sont trop peu importantes ou trop irrégulières pour contribuer à l'intégration de ces cultures aux systèmes de production sur le long terme, et n'ont pas émergé dans les motivations des acteurs à diversifier que nous avons recueillies. Les soutiens liés à l'agriculture biologique ou aux indications géographiques ont contribué plus directement aux dynamiques de diversification que nous avons observées. Dans les Marches, le soutien du second pilier de la PAC proposé pour la mise en place de contrats « de filière » entre les maillons de production, de collecte et de transformation a contribué au développement de cultures de diversification, mais a également consolidé les filières de blé dur ou de tournesol qui constituent les cultures dominantes du territoire. Il reste donc une large place pour la création d'un contexte plus favorable à la diversification des cultures, en termes de normes, de ressources, de connaissances, etc. On constate par ailleurs que les éléments soutenant des dynamiques de diversification (augmentation de la consommation de protéines végétales, soutien à la contractualisation au sein des filières) soutiennent souvent, en parallèle, un renforcement de la « dépendance au chemin » autour des espèces majoritaires (Marie-Benoit Magrini et al., 2019).

Nous ne pouvons pas prédire, par ailleurs, la robustesse des dynamiques de diversification que nous avons mises en évidence face aux augmentations considérables des prix des cultures principales sur nos trois territoires d'étude (blé tendre, blé dur, colza, maïs, tournesol) en cours au premier semestre de l'année 2022. Cette incertitude renforce le constat qu'une stabilité des prix des productions, qu'elles concernent les espèces majeures ou mineures, est indispensable pour construire des initiatives de diversification pérennes des systèmes agri-alimentaires (Ridier and Labarthe, 2019).

3.2 Rôle des différents acteurs des systèmes agri-alimentaires dans le développement et le soutien de la diversification des cultures

Pour conclure cette discussion, nous revenons ci-dessous sur quatre grandes catégories d'acteurs impliqués dans la diversification des cultures et sur les rôles qu'ils peuvent jouer pour la soutenir.

3.2.1 Rôle des opérateurs des filières d'aval

Du côté des acteurs de l'aval des filières auxquels nous nous sommes intéressés (collecte, transformation), différentes transformations des activités nous semblent souhaitables pour soutenir la diversification.

Les industries présentes sur le territoire ou dans les territoires limitrophes jouent un rôle important, dans les régions d'étude, en tant que partenaires qui peuvent faire évoluer leurs attentes de qualité et de localité des approvisionnements pour contribuer à des initiatives de diversification locales. De par leur rôle traditionnel d'intermédiaires entre les agriculteurs et ces transformateurs, les opérateurs de collecte et stockage sont dans une position intéressante pour construire et animer des partenariats multi-acteurs autour de la diversification, ce qui avait été souligné par Meynard et al. (2018). Étant également en contact avec les industries de l'amont agricole, en particulier les sélectionneurs et semenciers, et avec les structures de R&D et de conseil (instituts techniques, chambres d'agriculture... en France), les opérateurs de collecte et stockage sont également à même d'inclure une diversité d'acteurs dans des dispositifs de diversification.

Cependant, nous avons montré que la place que ces acteurs accordent aux cultures principales dans leurs activités, et dans la contractualisation avec les agriculteurs, est nécessairement remise en question par une perspective de diversification, et peut y faire obstacle, comme le montrent aussi Meynard et al. (2018). Les acteurs de la collecte (coopératives, négoce) ont donc intérêt à s'appuyer sur un diagnostic des systèmes de culture dominants sur le territoire sur lequel ils travaillent, et sur les problématiques rencontrées par ces systèmes, pour construire avec les agriculteurs des stratégies de diversification adaptées localement. Les caractéristiques des sols, les pressions d'adventices et de ravageurs, les capacités éventuelles d'irrigation et leurs perspectives d'évolution, les caractéristiques des exploitations agricoles, sont autant de critères qui doivent guider ces stratégies de diversification. De telles approches sont en cours pour les productions de cultures énergétiques, par exemple (Rizzo et al., 2014), dont la concurrence avec les cultures destinées à l'alimentation provoque aussi des tensions. Les problématiques des opérateurs eux-mêmes, en lien avec les infrastructures et les ressources dont ils disposent (outils de tri et de transformation, localisation des silos, compétences des opérateurs...), peuvent être une base sur laquelle s'appuyer pour faire évoluer les volumes et les pratiques de collecte, comme évoqué pour d'autres pratiques innovantes (Magrini et al., 2013).

Nous avons vu cependant qu'il n'existe pas un seul modèle de diversification réussie, mais plutôt plusieurs modèles dont les caractéristiques varient, en particulier, dans la place respective occupée (i) par les opérateurs de collecte et de transformation et (ii) par les agriculteurs dans les prises de décision. Dans le modèle « aval », les opérateurs de l'aval réalisent des investissements importants dans la production de connaissances, la mise à disposition de compétences et d'équipements, et la conception de spécifications techniques adaptées à chaque culture de diversification et aux objectifs de production qu'ils se fixent pour cette culture. Les débouchés proposés aux agriculteurs sont alors sécurisés et accompagnés

d'un soutien technique et matériel, en échange du suivi de cahiers des charges détaillés. Dans le modèle « agriculteurs », les caractéristiques attendues des produits de la diversification, et les choix productifs nécessaires pour atteindre ces caractéristiques, sont négociés entre les acteurs (incluant les transformateurs), avec une marge de manœuvre laissée aux agriculteurs dans la conduite de la culture. Ce deuxième modèle souligne l'intérêt de remettre en question, autant que nécessaire, les critères de qualité que se fixent les acteurs de la transformation (dans quelle mesure ces critères peuvent-ils évoluer, avec ou sans ajustement des procédés de transformation, sans remettre en cause la qualité du produit final ?), et les contraintes de production qu'ils imposent aux agriculteurs pour atteindre ces critères de qualité (Meynard et al., 2018).

Les entreprises de collecte (coopératives et négoce) ont aussi un rôle de conseil, de plus en plus marqué, auprès des agriculteurs, sous des formes diverses résultant de tensions entre cette fonction de conseil et leurs autres fonctions (vente d'intrants, collecte et vente des productions agricoles sur les marchés, transformation dans certains cas). La mise en place de pratiques de *back-office* permettant de soutenir un conseil systémique, et le renouvellement des conseillers que cela implique, sont encore des freins à l'émergence d'approches systémiques du conseil pour une partie de ces structures (Gaudinat and Le Bail, 2017; Goulet et al., 2015). Pourtant, du fait de leur connaissance à la fois des problématiques agricoles locales et des possibilités de valorisation des productions, les acteurs de la collecte ont un rôle à jouer dans une plus grande prise en compte des enjeux agronomiques à l'échelle des systèmes de culture dans le conseil aux agriculteurs, et dans l'accompagnement de ces agriculteurs vers une évaluation plus systémique de la diversification pour concevoir des systèmes de culture tenant compte de ces enjeux.

3.2.2 Rôle des agriculteurs

Nous avons montré que différentes trajectoires de diversification sont possibles, avec des vitesses de changement, des niveaux et des modalités de diversification variables d'une exploitation à l'autre, en fonction des contraintes qui pèsent sur cette exploitation et des attentes des agriculteurs. La diversification peut donc être expérimentée par les agriculteurs sous une diversité de formes en fonction de ce qui leur semble pertinent dans leur système. Diversifier en introduisant quelques cultures sur de faibles surfaces, ou une culture supplémentaire en rotation sur toutes les parcelles, contribue à la diversification des paysages agricoles et permet aux agriculteurs de développer une première expérience de la diversification. Les bénéfices agronomiques démontrés de la diversification s'appuient sur une diversification réfléchie à l'échelle du système de culture, en cohérence avec les ressources de l'exploitation, incluant des cultures de vente mais aussi d'autres pratiques de diversification possibles et n'impliquant pas les mêmes contraintes : couverts intermédiaires, cultures fourragères ou prairies temporaires, plantes de services (Hufnagel et al., 2020).

Pour la valorisation des productions issues de la diversification, nous avons également observé différentes stratégies selon les attentes des agriculteurs, en particulier selon les marges de manœuvre qu'ils souhaitent avoir dans la conduite de leurs systèmes de culture, et selon les investissements (notamment de temps) qu'ils sont prêts à faire dans des activités liées à la gestion post-récolte, la transformation et la commercialisation de leurs productions. Dans tous les cas, il nous semble nécessaire que les agriculteurs puissent co-construire avec les acteurs de l'aval des filières les objectifs de production associés aux cultures de diversification. Cette co-construction peut aller jusqu'à une gestion commune de l'organisation des opérations post-

récolte (collecte, stockage, tri), de transformation et de commercialisation entre les producteurs et l'aval.

L'inscription dans des collectifs d'agriculteurs, formels ou informels, centrés ou non sur la thématique de la diversification, constitue souvent un lieu de soutien à la diversification pour les agriculteurs à travers le partage d'expériences, le soutien aux apprentissages, mais aussi possiblement la mise en commun de matériel, d'équipements, voire d'activités de valorisation des productions, et le partage des compétences associées à ces équipements et activités, comme l'ont également montré Lucas et al. (2018). Blesh et Wolf (2014) mettent par ailleurs en évidence que les agriculteurs les plus engagés dans la transition vers des pratiques agroécologiques appartiennent à une multitude de réseaux, relevant à la fois du régime dominant et de niches d'innovation.

3.2.3 Rôle des acteurs du conseil, de la recherche et du développement

Nous n'avons pas directement étudié les pratiques des acteurs du conseil dans ce travail, mais l'analyse du fonctionnement des systèmes d'approvisionnement et des processus d'apprentissage des agriculteurs associés à la diversification nous apportent différents éléments sur le rôle que ces acteurs peuvent jouer dans le soutien à la diversification des cultures. Certaines des dynamiques de diversification que nous avons caractérisées, notamment en Vendée et en Scanie, ont ainsi été appuyées par des acteurs du conseil. Les acteurs du « conseil » au sens large, incluant la recherche et le développement agricole, peuvent contribuer de différentes manières au développement de systèmes de culture diversifiés (Reckling et al., 2020).

La production de connaissances liées aux cultures mineures et aux systèmes de culture diversifiés est l'un de ces éléments (Leclère et al., 2018), y compris à travers l'analyse de pratiques innovantes des agriculteurs et la production d'intelligibilité sur ces pratiques (Salembier et al., 2016). Comme Cerf et al. (2017), qui ont travaillé sur la question de la réduction des produits phytosanitaires, nous identifions que les acteurs du conseil et de la R&D qui construisent des références sur les cultures de diversification mobilisent, dans des proportions variables, des connaissances produites à partir de dispositifs expérimentaux, et de l'expérience pratique des agriculteurs. La prise en compte des apprentissages des agriculteurs qui diversifient est essentielle pour identifier la diversité de leurs attentes, qui ne concernent pas seulement les performances des cultures de diversification, mais aussi les implications de la diversification d'un point de vue agronomique à l'échelle du système de culture, d'un point de vue organisationnel pour la gestion des ressources et des activités de l'exploitation, et d'un point de vue socio-économique dans les relations avec les acteurs des filières et différents réseaux. Autrement dit, les acteurs du conseil peuvent accompagner les agriculteurs qui diversifient, non seulement en relayant des préconisations sur les cultures mineures (Labarthe and Laurent, 2013a, 2013b), mais aussi à travers le diagnostic de leurs systèmes de production et l'identification de ce qui pourrait être des motivations « internes » à diversifier pour ces agriculteurs, en lien avec la diversité de leurs attentes agronomiques ou de travail (Chizallet et al., 2018).

Cet accompagnement à la diversification peut aussi concerner, plus largement que les agriculteurs, l'animation ou la facilitation de dispositifs multi-acteurs (au niveau des filières, des territoires) pour la production de connaissances ou la construction de systèmes d'approvisionnement autour de la diversification (Lucas et al., 2018; Slimi et al., 2021). Là aussi, l'accompagnement consiste notamment à faire émerger les attentes des acteurs et à identifier

des stratégies de diversification en cohérence avec ces attentes (Ensor and de Bruin, 2022). La manière dont se construisent les trajectoires des agriculteurs qui diversifient, dans leur façon d'expérimenter et d'apprendre (Chapitre 3), nous semble fournir des schémas intéressants à prendre en compte dans les travaux sur la conception (Chizallet et al., 2020; Lacombe et al., 2018; Leclère et al., 2018; Meynard et al., 2012).

3.2.4 Rôle des pouvoirs publics

Nous avons vu que les politiques publiques semblaient avoir peu agi comme leviers des dynamiques de diversification dans nos trois territoires d'étude. Les transformations des activités des différents acteurs des systèmes agri-alimentaires que nous avons décrites ci-dessus pourraient pourtant être plus largement soutenues par des orientations fortes des pouvoirs publics vers la diversification, à différentes échelles (locale, régionale, nationale, européenne) et en lien avec différentes politiques (agricole, alimentaire, de recherche, mais aussi de santé ou d'emploi (Mabhaudhi et al., 2019).

L'action des pouvoirs publics pourrait ainsi jouer un rôle plus important dans le soutien à la constitution de réseaux d'acteurs contribuant à la diversification, à la coordination de ces réseaux, et aux activités de conception, de production de connaissance collectives qu'implique la diversification. Nous avons vu que la diversification des cultures implique de développer de nouveaux systèmes de gouvernance des systèmes d'approvisionnement, et plus largement des systèmes agri-alimentaires. L'action publique au niveau des maillons de la distribution et de la consommation semble également nécessaire pour contribuer à faire évoluer ces dispositifs de gouvernance en intégrant de manière plus équilibrée les différents acteurs des systèmes agri-alimentaires dans les prises de décision (Magrini et al., 2018).

Nous avons vu que les apprentissages prennent une place importante dans les dynamiques de diversification, et plus globalement que la diversification se traduit par des incertitudes, en particulier durant les premières années de développement d'un système d'approvisionnement ou d'introduction d'une culture sur une exploitation. La sécurisation de ces périodes d'incertitudes et des activités d'expérimentation qu'elles représentent pour les acteurs, y compris les agriculteurs, permettrait à ces acteurs de gérer plus facilement les « échecs » rencontrés au début de leurs trajectoires de diversification (Ridier and Labarthe, 2019).

Comme le soulignent Meynard et al. (2018), l'action publique en faveur de la diversification des cultures passe également par le fait de contrer les mécanismes d'auto-renforcement technologique autour des cultures majeures en orientant de manière systémique et pérenne des soutiens vers la R&D sur les cultures mineures, mais aussi en s'efforçant de réguler les effets de crises sur l'inflation spéculative des prix des cultures majeures.

CONCLUSION GENERALE

A travers l'analyse d'expériences de diversification des cultures dans trois territoires européens, nous avons caractérisé les mécanismes de la diversification à l'interface des exploitations agricoles, des filières et des territoires. Nous nous sommes principalement appuyés sur l'agronomie système, pour caractériser (1) les trajectoires de diversification des exploitations agricoles et les déterminants de ces trajectoires, (2) les systèmes d'approvisionnement des cultures de diversification et la manière dont ils se combinent dans les territoires, et (3) les processus d'apprentissage des agriculteurs qui diversifient et le rôle de ces processus dans les trajectoires de diversification. Pour chacun de ces axes d'analyse, nous avons cherché à mettre en évidence la diversité des manières dont les acteurs diversifient, mais aussi à identifier dans quelle mesure certains de ces mécanismes de diversification se retrouvent d'une expérience à l'autre, en particulier dans une perspective de comparaison interterritoriale et internationale. Nous avons ainsi pu décrire des mécanismes de diversification transversaux à trois territoires d'étude, en termes de trajectoires de diversification et de modalités de fonctionnement des systèmes d'approvisionnement. Nous identifions différents « leviers » de diversification, et la nécessité de les mobiliser de manière cohérente pour accompagner la complexité et la pluralité des mécanismes de diversification.

Nous avons décrit de manière plus systématique des « solutions » de diversification, mises en évidence par notre analyse, dans deux livrables du programme DiverIMPACTS. Le premier livrable, spécifique à la thèse, décrit les mécanismes de la diversification dans les exploitations agricoles (voir annexe 5). Un second livrable, commun au WP5 du programme DiverIMPACTS dans lequel s'inscrivait la thèse, reprend la liste des barrières à la diversification identifiées par Morel et al. (2020) et présente pour chacune différents leviers d'action. Nous avons particulièrement contribué au premier volet de ce livrable, qui concerne le maillon de la production agricole et des exploitations (voir annexe 6, pp. 5-21).

Nos résultats montrent que, malgré le verrouillage technologique des systèmes agri-alimentaires autour des cultures majeures, des dynamiques de diversification des cultures peuvent se développer sous certaines conditions. Ces dynamiques de diversification sont à rattacher en particulier (i) au développement de niches d'innovation ou de systèmes « alternatifs », autour des cultures mineures, et (ii) à des évolutions locales des acteurs des systèmes agri-alimentaires dominants, qui intègrent à leurs modèles de fonctionnement quelques cultures de diversification. Mais le « paysage sociotechnique » reste peu favorable à la diversification dans les dynamiques que nous avons caractérisées. Des évolutions importantes des caractéristiques de ce « paysage » sont pourtant en cours au niveau européen, avec la mise en œuvre d'une réforme de la Politique Agricole Commune à partir de 2022 et de la stratégie Farm to Fork. A l'échelle mondiale, les effets de la pandémie de Covid-19, de la guerre en Ukraine et des changements climatiques sur les marchés agricoles sont déjà majeurs et semblent plutôt servir à un renforcement des logiques de spécialisation. Soutenir la constitution de réseaux d'acteurs pour la production de connaissances, d'objectifs communs et la construction de filières de diversification, à différentes échelles, apparaît donc indispensable. Notre travail propose des pistes de compréhension des mécanismes de diversification au niveau des exploitations agricoles, des systèmes d'approvisionnement et des territoires qui pourront contribuer à la conception de tels réseaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abson, D.J., 2019. Chapter 19 - The Economic Drivers and Consequences of Agricultural Specialization, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 301–315. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00019-4>
- Adeux, G., Munier-Jolain, N., Meunier, D., Farcy, P., Carlesi, S., Barberi, P., Cordeau, S., 2019. Diversified grain-based cropping systems provide long-term weed control while limiting herbicide use and yield losses. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 42. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0587-x>
- Akrich, M., Callon, M., Latour, B., 1987. A quoi tient le succès des innovations? 1 : L'art de l'intéressement; 2 : Le choix des porte-parole. *Gérer et Comprendre. Annales des Mines* 4–17 & 14–29.
- Allen, P., 2004. *Together at the table: Sustainability and sustenance in the American agrifood system*. Penn State Press.
- Altieri, M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74, 19–31. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Argyris, C., Schon, D.A., 1974. *Theory in practice: Increasing professional effectiveness*. Jossey-Bass.
- Arthur, W.B., 1989. Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. *The Economic Journal* 99, 116–131. <https://doi.org/10.2307/2234208>
- Asai, M., Moraine, M., Ryschawy, J., de Wit, J., Hoshide, A.K., Martin, G., 2018. Critical factors for crop-livestock integration beyond the farm level: A cross-analysis of worldwide case studies. *Land Use Policy* 73, 184–194. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.010>
- Beillouin, D., Ben-Ari, T., Makowski, D., 2019. Evidence map of crop diversification strategies at the global scale. *Environ. Res. Lett.* 14, 123001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4449>
- Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malézieux, E., Seufert, V., Makowski, D., 2021. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology* 27, 4697–4710. <https://doi.org/10.1111/gcb.15747>
- Belletti, G., Maescotti, A., Brazzini, A., 2017. Old World Case Study: The Role of Protected Geographical Indications to Foster Rural Development Dynamics: The Case of Sorana Bean PGI, in: van Caenegem, W., Cleary, J. (Eds.), *The Importance of Place: Geographical Indications as a Tool for Local and Regional Development*, *Ius Gentium: Comparative Perspectives on Law and Justice*. Springer International Publishing, Cham, pp. 253–276. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53073-4_10
- Belmin, R., Casabianca, F., Julhia, L., Meynard, J.-M., 2021. Multi-level management of harvest for fresh fruit: the case of Corsican clementine. *Agron. Sustain. Dev.* 41, 41. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00686-z>
- Belmin, R., Casabianca, F., Meynard, J.-M., 2018a. Contribution of the transition theory to the study of Geographical Indications. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2017.10.002>

- Belmin, R., Meynard, J.-M., Julhia, L., Casabianca, F., 2018b. Sociotechnical controversies as warning signs for niche governance. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 44. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0521-7>
- Blesh, J., Wolf, S.A., 2014. Transitions to agroecological farming systems in the Mississippi River Basin: toward an integrated socioecological analysis. *Agric Hum Values* 31, 621–635. <https://doi.org/10.1007/s10460-014-9517-3>
- Bockstaller, C., 2018. DiverIMPACTS Indicator factsheet: Crop Diversity Index [DiverIMPACTS Indicator # 7.1]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2268165>
- Bockstaller, C., Lasserre-Joulin, F., Slezack-Deschaumes, S., Piutti, S., Villerd, J., Amiaud, B., Plantureux, S., 2011. Assessing biodiversity in arable farmland by means of indicators: an overview. *OCL* 18, 137–144. <https://doi.org/10.1051/ocl.2011.0381>
- Boulestreau, Y., Casagrande, M., Navarrete, M., 2021. Analyzing barriers and levers for practice change: a new framework applied to vegetables' soil pest management. *Agron. Sustain. Dev.* 41, 44. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00700-4>
- Boulestreau, Y., Peyras, C.-L., Casagrande, M., Navarrete, M., 2022. Tracking down coupled innovations supporting agroecological vegetable crop protection to foster sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems* 196, 103354. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103354>
- Bowen, S., Mutersbaugh, T., 2014. Local or localized? Exploring the contributions of Franco-Mediterranean agrifood theory to alternative food research. *Agric Hum Values* 31, 201–213. <https://doi.org/10.1007/s10460-013-9461-7>
- Brédart, D., Stassart, P.M., 2017. When farmers learn through dialog with their practices: A proposal for a theory of action for agricultural trajectories. *Journal of Rural Studies* 53, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.04.009>
- Brunori, G., D'Amico, S., Rossi, A., 2019. Chapter 20 - Practices of Sustainable Intensification Farming Models: An Analysis of the Factors Conditioning Their Functioning, Expansion, and Transformative Potential, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 317–333. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00020-0>
- Brunori, G., Galli, F., Barjolle, D., Van Broekhuizen, R., Colombo, L., Giampietro, M., Kirwan, J., Lang, T., Mathijs, E., Maye, D., De Roest, K., Rougoor, C., Schwarz, J., Schmitt, E., Smith, J., Stojanovic, Z., Tisenkopfs, T., Touzard, J.-M., 2016. Are Local Food Chains More Sustainable than Global Food Chains? Considerations for Assessment. *Sustainability* 8, 449. <https://doi.org/10.3390/su8050449>
- Capillon, A., Valceschini, E., 1998. La coordination entre exploitations agricoles et entreprises agro-alimentaires. INRA.
- Caron, P., 2005. À quels territoires s'intéressent les agronomes? Le point de vue d'un géographe tropicaliste, What kind of territories are agronomists interested in? A tropical geographer's perspective. *Natures Sciences Sociétés* 13, 145–153.
- 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>
- 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>

- Catalogna, M., Dunilac Dubois, M., Navarrete, M., 2022. Multi-annual experimental itinerary: an analytical framework to better understand how farmers experiment agroecological practices. *Agron. Sustain. Dev.* 42, 20. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00758-8>
- Catarino, R., Therond, O., Berthommier, J., Miara, M., Mérot, E., Misslin, R., Vanhove, P., Villerd, J., Angevin, F., 2021. Fostering local crop-livestock integration via legume exchanges using an innovative integrated assessment and modelling approach based on the MAELIA platform. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103066>
- Cerf, M., Bail, L., Lusson, J.M., Omon, B., 2017. Contrasting intermediation practices in various advisory service networks in the case of the French Ecophyto plan. *The Journal of Agricultural Education and Extension* 23, 231–244. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2017.1320641>
- Chantre, E., Cardona, A., 2014. Trajectories of French Field Crop Farmers Moving Toward Sustainable Farming Practices: Change, Learning, and Links with the Advisory Services. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 38, 573–602. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.876483>
- Chantre, E., Cerf, M., Bail, M.L., 2015. Transitional pathways towards input reduction on French field crop farms. *International Journal of Agricultural Sustainability* 13, 69–86. <https://doi.org/10.1080/14735903.2014.945316>
- 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.
- Chantre, E., Le Bail, M., Cerf, M., 2013. Comment évolue l'expérience des agriculteurs engagés dans l'écologisation de leurs pratiques? 2013–4, 71–81.
- Charrier, F., Magrini, M.-B., Charlier, A., Fares, M., Le Bail, M., Messean, A., Meynard, J.M., 2013. Alimentation animale et organisation des filières: une comparaison pois protéagineux-lin oléagineux pour comprendre les facteurs freinant ou favorisant les cultures de diversification. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides* 20, 10 p. <https://doi.org/10.1051/ocl/2013011>
- Chizallet, M., Barcellini, F., Prost, L., 2018. Supporting farmers' management of change towards agroecological practices by focusing on their work: a contribution of ergonomics. *Cah. Agric.* 27, 35005. <https://doi.org/10.1051/cagri/2018023>
- Chizallet, M., Prost, L., Barcellini, F., 2020. Supporting the design activity of farmers in transition to agroecology: Towards an understanding. *Le travail humain* 83, 33–59.
- Chizallet, M., Prost, L., Barcellini, F., 2019. Comprendre l'activité de conception d'agriculteurs en transition agroécologique : vers un modèle trilogique de la conception. *Psychologie Française, Développement durable: nouvelles perspectives en psychologie ergonomique et ergonomie* 64, 119–139. <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2019.03.001>
- Cholez, C., Magrini, M.-B., Galliano, D., 2020. Exploring inter-firm knowledge through contractual governance: A case study of production contracts for faba-bean procurement in France. *Journal of Rural Studies* 73, 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.10.040>
- Cholez, C., Magrini, M.-B., Galliano, D., 2017. Les contrats de production en grandes cultures. Coordination et incitations par les coopératives. *Economie rurale* n° 360, 65–83.
- Compagnone, C., Lamine, C., Dupré, L., 2018. La production et la circulation des connaissances en agriculture interrogées par l'agro-écologie. *Revue d'anthropologie des connaissances* Vol. 12, N°2, 111–138.

- Conaré, D., Bricas, N., 2021. Prendre ses distances avec le local ?, in: *Pour Une Écologie de l'alimentation*. pp. 227–238. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3353-3/c17>
- Coquil, X., Béguin, P., Dedieu, B., 2014. Transition to self-sufficient mixed crop–dairy farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 29, 195–205. <https://doi.org/10.1017/S1742170513000458>
- Coquil, X., Cerf, M., Auricoste, C., Joannon, A., Barcellini, F., Cayre, P., Chizallet, M., Dedieu, B., Hostiou, N., Hellec, F., Lusson, J.-M., Olry, P., Omon, B., Prost, L., 2018. Questioning the work of farmers, advisors, teachers and researchers in agro-ecological transition. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 47. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0524-4>
- Cristofari, H., 2018. A pragmatist analysis of learning processes in agroecology: the case of conservation agriculture (Theses). Université Toulouse 3 - Paul Sabatier.
- Cristofari, H., Girard, N., Magda, D., 2018. How agroecological farmers develop their own practices: a framework to describe their learning processes. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 0, 1–19. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1448032>
- Cusworth, G., Garnett, T., Lorimer, J., 2021. Agroecological break out: Legumes, crop diversification and the regenerative futures of UK agriculture. *Journal of Rural Studies* 88, 126–137. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.10.005>
- Darnhofer, I., Bellon, S., Dedieu, B., Milestad, R., 2010. Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30, 545–555. <https://doi.org/10.1051/agro/2009053>
- Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, B., 2012. Farming Systems Research: an approach to inquiry, in: *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer, Dordrecht, pp. 3–31. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_1
- Darnhofer, I., Schneeberger, W., Freyer, B., 2005. Converting or not converting to organic farming in Austria: Farmer types and their rationale. *Agriculture and human values* 22, 39–52.
- Darré, J.-P., 1994. Pairs et experts dans l'agriculture : dialogues et production de connaissance pour l'action, Technologies, idéologies et pratiques. Erès, Toulouse.
- David, P.A., 1985. Clio and the Economics of QWERTY, in «*American Economic Review*», n. 75.
- Davis, A.S., Hill, J.D., Chase, C.A., Johanns, A.M., Liebman, M., 2012. Increasing Cropping System Diversity Balances Productivity, Profitability and Environmental Health. *PLOS ONE* 7, e47149. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047149>
- De Herde, V., Maréchal, K., Baret, P.V., 2019. Lock-ins and Agency: Towards an Embedded Approach of Individual Pathways in the Walloon Dairy Sector. *Sustainability* 11, 4405. <https://doi.org/10.3390/su11164405>
- de Roest, K., Ferrari, P., Knickel, K., 2018. Specialisation and economies of scale or diversification and economies of scope? Assessing different agricultural development pathways. *Journal of Rural Studies* 59, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.04.013>
- Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., Flor, R.J., Lescourret, F., Wyckhuys, K.A.G., Ratnadass, A., 2021. Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 41, 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w>
- Delecourt, E., Joannon, A., Meynard, J.-M., 2019. Work-related information needed by farmers for changing to sustainable cropping practices. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 28. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0571-5>

- Della Rossa, P., Le Bail, M., Mottes, C., Jannoyer, M., Cattan, P., 2020. Innovations developed within supply chains hinder territorial ecological transition: the case of a watershed in Martinique. *Agron. Sustain. Dev.* 40, 10. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0613-z>
- Dolinska, A., d'Aquino, P., 2016. Farmers as agents in innovation systems. Empowering farmers for innovation through communities of practice. *Agricultural Systems* 142, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.11.009>
- Dupré, M., Michels, T., Le Gal, P.-Y., 2017. Diverse dynamics in agroecological transitions on fruit tree farms. *European Journal of Agronomy* 90, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.002>
- 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., 2015. 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>
- Dwivedi, S.L., van Bueren, E.T.L., Ceccarelli, S., Grando, S., Upadhyaya, H.D., Ortiz, R., 2017. Diversifying Food Systems in the Pursuit of Sustainable Food Production and Healthy Diets. *Trends in Plant Science* 22, 842–856. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.06.011>
- Ensor, J., de Bruin, A., 2022. The role of learning in farmer-led innovation. *Agricultural Systems* 197, 103356. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103356>
- Fares, M., Magrini, M.-B., Triboulet, P., 2012. Transition agroécologique, innovation et effets de verrouillage : le rôle de la structure organisationnelle des filières. *Cahiers Agricultures* 21, 34-45 (1). <https://doi.org/10.1684/agr.2012.0539>
- Faure, G., Mawois, M., Le Gal, P.-Y., 2010. Effets des chaînes d'approvisionnement aval sur la gestion des exploitations agricoles. CHAINES D'APPROVISIONNEMENT ET EXPLOITATION AGRICOLE, in: COUDEL, E., DEVAUTOUR, H., SOULARD, C.-T., HUBERT, B. (Eds.), ISDA 2010. Cirad-Inra-SupAgro, Montpellier, France, p. 21 p.
- Filippi, M., Frey, O., 2015. Le conseiller, une pièce maîtresse sur l'échiquier de la coopérative agricole. *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement - Review of agricultural and environmental studies* 439–466.
- Forney, J., 2021. Farmers' empowerment and learning processes in accountability practices: An assemblage perspective. *Journal of Rural Studies* 86, 673–683. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.05.021>
- Franz, N., Piercy, F., Donaldson, J., Richard, R., Westbrook, J., 2010. How Farmers Learn: Implications for Agricultural Educators. *Journal of Rural Social Sciences* 25.
- Gaitán-Cremaschi, D., Klerkx, L., Duncan, J., Trienekens, J.H., Huenchuleo, C., Dogliotti, S., Contesse, M.E., Benitez-Altuna, F.J., Rossing, W.A.H., 2020. Sustainability transition pathways through ecological intensification: an assessment of vegetable food systems in Chile. *International Journal of Agricultural Sustainability* 18, 131–150. <https://doi.org/10.1080/14735903.2020.1722561>
- Gaitán-Cremaschi, D., Klerkx, L., Duncan, J., Trienekens, J.H., Huenchuleo, C., Dogliotti, S., Contesse, M.E., Rossing, W.A.H., 2019. Characterizing diversity of food systems in view of sustainability transitions. A review. *AGRONOMY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT* 39. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0550-2>
- Garibaldi, L.A., Pérez-Méndez, N., 2019. Positive outcomes between crop diversity and agricultural employment worldwide. *Ecological Economics* 164, 106358. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106358>

- Garini, C.S., Vanwindekens, F., Scholberg, J.M.S., Wezel, A., Groot, J.C.J., 2017. Drivers of adoption of agroecological practices for winegrowers and influence from policies in the province of Trento, Italy. *Land Use Policy* 68, 200–211. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.07.048>
- Gasselin, P., Lardon, S., Cerdan, C., Loudiyi, S., Sautier, D. (Eds.), 2021. *Coexistence et confrontation des modèles agricoles et alimentaires*. éditions Quae. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-3243-7>
- Gasselin, P., Lardon, S., Cerdan, C., Loudiyi, S., Sautier, D., 2020. The coexistence of agricultural and food models at the territorial scale: an analytical framework for a research agenda. *Rev Agric Food Environ Stud* 101, 339–361. <https://doi.org/10.1007/s41130-020-00119-7>
- Gaudin, A.C.M., Tolhurst, T.N., Ker, A.P., Janovicek, K., Tortora, C., Martin, R.C., Deen, W., 2015. Increasing Crop Diversity Mitigates Weather Variations and Improves Yield Stability. *PLoS One* 10, e0113261. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113261>
- Gaudinat, G., Le Bail, M., 2017. Evolution du conseil technique des coopératives dans un contexte de transition agroécologique. *Les cahiers du développement coopératif* 36–41.
- Geels, F.W., 2011. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 1, 24–40. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>
- Geels, F.W., 2005. Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. *Technological Forecasting and Social Change, Transitions towards Sustainability through System Innovation* 72, 681–696. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2004.08.014>
- Geels, F.W., 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy, NELSON + WINTER + 20* 31, 1257–1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Geels, F.W., Schot, J., 2007. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy* 36, 399–417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003>
- Girard, N., 2015. Knowledge at the boundary between science and society: a review of the use of farmers' knowledge in agricultural development. *J of Knowledge Management* 19, 949–967. <https://doi.org/10.1108/JKM-02-2015-0049>
- Gliessman, S., 2016. Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 40, 187–189. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1130765>
- Goulet, F., Compagnone, C., Labarthe, P., 2015. *Conseil privé en agriculture: Acteurs, pratiques et marché*. Quae.
- Groot-Kormelinck, A., Bijman, J., Trienekens, J., Klerkx, L., 2022. Producer organizations as transition intermediaries? Insights from organic and conventional vegetable systems in Uruguay. *Agric Hum Values*. <https://doi.org/10.1007/s10460-022-10316-3>
- Guichard, L., Dedieu, F., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.M., Reau, R., Savini, I., 2017. Le plan Ecophyto de réduction d'usage des pesticides en France : décryptage d'un échec et raisons d'espérer. *Cahiers Agricultures* 26, 1. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017004>
- Hill, S.B., MacRae, R.J., 1996. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 7, 81–87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07

- Ho, H.-T., 2020. Cosmopolitan locavorism: global local-food movements in postcolonial Hong Kong. *null* 23, 137–154. <https://doi.org/10.1080/15528014.2019.1682886>
- Hoffecker, E., 2021. Understanding inclusive innovation processes in agricultural systems: A middle-range conceptual model. *World Development* 140, 105382. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105382>
- Hufnagel, J., Reckling, M., Ewert, F., 2020. Diverse approaches to crop diversification in agricultural research. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 40, 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00617-4>
- Huttunen, S., Oosterveer, P., 2015. Transition to Sustainable Fertilisation in Agriculture, A Practices Approach. *Sociologia Ruralis* 57, 191–210. <https://doi.org/10.1111/soru.12118>
- Ingram, J., 2010. Technical and Social Dimensions of Farmer Learning: An Analysis of the Emergence of Reduced Tillage Systems in England. *Journal of Sustainable Agriculture* 34, 183–201. <https://doi.org/10.1080/10440040903482589>
- Ingram, J., 2008. Are farmers in England equipped to meet the knowledge challenge of sustainable soil management? An analysis of farmer and advisor views. *Journal of Environmental Management* 86, 214–228. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.036>
- Ingram, J., Chiswella, H., Mills, J., Debruyne, L., Cooreman, H., Koutsouris, A., Pappa, E., Marchand, F., 2018. Enabling learning in demonstration farms: a literature review. *International Journal of Agricultural Extension* 6, 29–42.
- IPES Food, 2016. From uniformity to diversity: a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems (Report). IPES.
- Isbell, F., Adler, P.R., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K., Kremen, C., Letourneau, D.K., Liebman, M., Polley, H.W., Quijas, S., Scherer-Lorenzen, M., 2017. Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *J. Ecol.* 105, 871–879. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789>
- Kadwa, M., Bezuidenhout, C.N., 2015. Modelling sugarcane supply consistency at a sugar mill. *Computers and Electronics in Agriculture* 111, 107–111. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.019>
- Keichinger, O., Viguier, L., Corre-Hellou, G., Messéan, A., Angevin, F., Bockstaller, C., 2021. Un indicateur évaluant la diversité globale des rotations : de la diversité des cultures aux services écosystémiques. *Agronomie, Environnement & Sociétés* 11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5549721>
- Kemp, R., 1994. Technology and the transition to environmental sustainability: The problem of technological regime shifts. *Futures* 26, 1023–1046. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(94\)90071-X](https://doi.org/10.1016/0016-3287(94)90071-X)
- Kilpatrick, S., Johns, S., 2003. How farmers learn: Different approaches to change. *The Journal of Agricultural Education and Extension* 9, 151–164. <https://doi.org/10.1080/13892240385300231>
- Kivimaa, P., 2014. Government-affiliated intermediary organisations as actors in system-level transitions. *Research Policy* 43, 1370–1380. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.02.007>
- Kivimaa, P., Boon, W., Hyysalo, S., Klerkx, L., 2019. Towards a typology of intermediaries in sustainability transitions: A systematic review and a research agenda. *Research Policy, New Frontiers in Science, Technology and Innovation Research from SPRU's 50th Anniversary Conference* 48, 1062–1075. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.006>

- Klasen, S., Meyer, K.M., Dislich, C., Euler, M., Faust, H., Gatto, M., Hettig, E., Melati, D.N., Jaya, I.N.S., Otten, F., Pérez-Cruzado, C., Steinebach, S., Tarigan, S., Wiegand, K., 2016. Economic and ecological trade-offs of agricultural specialization at different spatial scales. *Ecological Economics* 122, 111–120.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.01.001>
- Klerkx, L., Leeuwis, C., 2009. Establishment and embedding of innovation brokers at different innovation system levels: Insights from the Dutch agricultural sector. *Technological Forecasting and Social Change* 76, 849–860.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.10.001>
- Kremen, C., Iles, A., Bacon, C., 2012. Diversified Farming Systems: An Agroecological, Systems-based Alternative to Modern Industrial Agriculture. *Ecology and Society* 17.
<https://doi.org/10.5751/ES-05103-170444>
- Kremen, C., Miles, A., 2012. Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems: Benefits, Externalities, and Trade-Offs. *Ecology and Society* 17.
<https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>
- Kroma, M.M., 2006. Organic Farmer Networks: Facilitating Learning and Innovation for Sustainable Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 28, 5–28.
https://doi.org/10.1300/J064v28n04_03
- Kronberg, S.L., Ryschawy, J., 2019. Chapter 15 - Integration of Crop and Livestock Production in Temperate Regions to Improve Agroecosystem Functioning, Ecosystem Services, and Human Nutrition and Health¹, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 247–256.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00015-7>
- Kummer, S., Leitgeb, F., Vogl, C., 2017. Farmers' Own Research: Organic Farmers' Experiments in Austria and Implications for Agricultural Innovation Systems. *Sustainable Agriculture Research* 6, p103. <https://doi.org/10.5539/sar.v6n1p103>
- Labarthe, P., 2010. Services immatériels et verrouillage technologique. Le cas du conseil technique aux agriculteurs. *Gazette du Palais* 44, 173–196.
- Labarthe, P., Laurent, C., 2013a. Privatization of agricultural extension services in the EU: Towards a lack of adequate knowledge for small-scale farms? *Food Policy* 38, 240–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.10.005>
- Labarthe, P., Laurent, C., 2013b. The Importance of the Back-office for Farm Advisory Services. *Eurochoices* 12, 21–26.
- Lacombe, C., Couix, N., Hazard, L., 2018. Designing agroecological farming systems with farmers: A review. *Agricultural Systems* 165, 208–220.
<https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.06.014>
- Lagrange, L., Valceschini, E., 2007. L'économie de la qualité: enjeux, acquis et perspectives. *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires* 94–99.
<https://doi.org/10.4000/economierurale.2251>
- Lambrecht, E., Kühne, B., Gellynck, X., 2014. How Do Innovation Partners Differ with Respect to Innovation Type and Stage in the Innovation Journey of Farmers? *The International Journal of Entrepreneurship and Innovation* 15, 191–203.
<https://doi.org/10.5367/ijei.2014.0155>
- Lamine, C., 2011. Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM. *Journal of rural studies* 27, 209–219.

- Lamine, C., Garçon, L., Brunori, G., 2019. Territorial agrifood systems: A Franco-Italian contribution to the debates over alternative food networks in rural areas. *Journal of Rural Studies* 68, 159–170. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.11.007>
- Lamine, C., Meynard, J.-M., Bui, S., Messéan, A., 2010. Réductions d'intrants: des changements techniques, et après? Effets de verrouillage et voies d'évolution à l'échelle du système agri-alimentaire. *Innovations agronomiques* 8, 121–134.
- Lamine, C., Renting, H., Rossi, A., Wiskerke, J.S.C. (Han), Brunori, G., 2012. Agri-Food systems and territorial development: innovations, new dynamics and changing governance mechanisms, in: Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, B. (Eds.), *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 229–256. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_11
- Lammerts van Bueren, E.T., Struik, P.C., van Eekeren, N., Nuijten, E., 2018. Towards resilience through systems-based plant breeding. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 42. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0522-6>
- Landais, E., Deffontaines, J.-P., Benoît, M., 1988. Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. *Études rurales* 109, 125–158. <https://doi.org/10.3406/rural.1988.3226>
- Lavoie, A.L., Dentzman, K., Wardropper, C.B., 2021. Using diffusion of innovations theory to understand agricultural producer perspectives on cover cropping in the inland Pacific Northwest, USA. *Renewable Agriculture and Food Systems* 36, 384–395. <https://doi.org/10.1017/S1742170520000423>
- 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*. L'Harmattan.
- Le Bail, M., Le Gal, P.-Y., 2011. Analyse et conception des systèmes de production végétale à l'échelle des bassins d'approvisionnement agro-alimentaires. *Agronomie, environnement et sociétés*.
- Le Bail, M., Magrini, M.-B., Fares, M., Messean, A., Charlier, A., Charrier, F., Meynard, J.M., 2014. How to break out the lock-in on crop diversification in France?, in: *11th European IFSA Symposium, Farming Systems Facing Global Challenges: Capacities and Strategies, Proceedings, Berlin, Germany, 1-4 April 2014*. International Farming Systems Association (IFSA) Europe, pp. 1328–1339.
- Le Bail, M., Meynard, J.-M., 2003. Yield and protein concentration of spring malting barley: the effects of cropping systems in the Paris Basin (France). *Agronomie* 23, 13–27. <https://doi.org/10.1051/agro:2002029>
- Le Bail, M., Verger, P., Doré, T., Fourbet, J.-F., Champeil, A., loos, R., Leblanc, J.-C., 2005. Simulation of consumer exposure to deoxynivalenol according to wheat crop management and grain segregation: Case studies and methodological considerations. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 42, 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2005.04.001>
- Le Bail, M.M., 2012. Stratégies des acteurs des filières et évolution des assolements d'un territoire: enseignements des travaux agronomiques sur la qualité. *Agronomie, Environnement et Sociétés* 2, 155–163.
- Le Gal, P.-Y., Le Masson, J., Bezuidenhout, C.N., Lagrange, L.F., 2009. Coupled modelling of sugarcane supply planning and logistics as a management tool. *Computers and Electronics in Agriculture* 68, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.05.006>

- Le Gal, P.-Y., Lyne, P.W.L., Meyer, E., Soler, L.-G., 2008. Impact of sugarcane supply scheduling on mill sugar production: A South African case study. *Agricultural Systems* 96, 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.05.006>
- Leclère, M., Loyce, C., Jeuffroy, M.-H., 2018. Growing camelina as a second crop in France: A participatory design approach to produce actionable knowledge. *European Journal of Agronomy* 101, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.08.006>
- Li, J., Huang, L., Zhang, J., Coulter, J.A., Li, L., Gan, Y., 2019. Diversifying crop rotation improves system robustness. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0584-0>
- Liebman, M., Schulte, L.A., 2015. Enhancing agroecosystem performance and resilience through increased diversification of landscapes and cropping systems. *Elementa: Science of the Anthropocene* 3, 000041-. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000041>
- Lin, B., 2011. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *BioScience* 61, 183–193. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4>
- Lucas, V., 2021. A “silent” agroecology: the significance of unrecognized sociotechnical changes made by French farmers. *Rev Agric Food Environ Stud* 102, 1–23. <https://doi.org/10.1007/s41130-021-00140-4>
- Lucas, V., Gasselin, P., Barbier, J.M., Pignal, A.-C., Cittadini, R., Thomas, F., Tourdonnet, S. de, 2020. Une agroécologie silencieuse au sein de l’agriculture française. Presses Universitaires Blaise Pascal.
- Lucas, V., Gasselin, P., Ploeg, J.D.V.D., 2018. Local inter-farm cooperation: A hidden potential for the agroecological transition in northern agricultures. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 0, 1–35. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1509168>
- Lyon, F., 1996. How farmers research and learn: The case of arable farmers of East Anglia, UK. *Agric Hum Values* 13, 39–47. <https://doi.org/10.1007/BF01530522>
- Mabhaudhi, T., Chibarabada, T.P., Chimonyo, V.G.P., Murugani, V.G., Pereira, L.M., Sobratee, N., Govender, L., Slotow, R., Modi, A.T., 2019. Mainstreaming Underutilized Indigenous and Traditional Crops into Food Systems: A South African Perspective. *Sustainability* 11, 172. <https://doi.org/10.3390/su11010172>
- MacWilliam, S., Wismer, M., Kulshreshtha, S., 2014. Life cycle and economic assessment of Western Canadian pulse systems: The inclusion of pulses in crop rotations. *Agricultural Systems* 123, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.08.009>
- Madelrieux, S., Bergeret, A., Fillion, L., 2018. Forms of territorial embeddedness in dairy value chains Case of the Chartreuse massif (French Alps): geographical and historical perspectives. *Open Agriculture* 3, 618–631. <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0065>
- Magrini, M.-B., Anton, M., Chardigny, J.-M., Duc, G., Duru, M., Jeuffroy, M.-H., Meynard, J.-M., Micard, V., Walrand, S., 2018. Pulses for Sustainability: Breaking Agriculture and Food Sectors Out of Lock-In. *Front. Sustain. Food Syst.* 2. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00064>
- 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. *Ecological Economics* 126, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.024>

- Magrini, Marie-Benoit, BÉfort, N., Nieddu, M., 2019. Chapter 24 - Technological Lock-In and Pathways for Crop Diversification in the Bio-Economy, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 375–388. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00024-8>
- Magrini, Marie-Benoît, Martin, G., Magne, M.-A., Duru, M., Couix, N., Hazard, L., Plumecocq, G., 2019. Agroecological Transition from Farms to Territorialised Agri-Food Systems: Issues and Drivers, in: Bergez, J.-E., Audouin, E., Therond, O. (Eds.), *Agroecological Transitions: From Theory to Practice in Local Participatory Design*. Springer International Publishing, Cham, pp. 69–98. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01953-2_5
- Magrini, M.-B., Triboulet, P., Bedoussac, L., 2013. Pratiques agricoles innovantes et logistique des coopératives agricoles. Une étude ex-ante sur l'acceptabilité de cultures associées blé dur-légumineuses. *Économie rurale. Agricultures, alimentations, territoires* 25–45. <https://doi.org/10.4000/economierurale.4145>
- Marr, E.J., Howley, P., 2019. The accidental environmentalists: Factors affecting farmers' adoption of pro-environmental activities in England and Ontario. *Journal of Rural Studies* 68, 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.013>
- Massawe, F., Mayes, S., Cheng, A., 2016. Crop Diversity: An Unexploited Treasure Trove for Food Security. *Trends in Plant Science* 21, 365–368. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.02.006>
- Mawois, M., Vidal, A., Revoyron, E., Casagrande, M., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., 2019. Transition to legume-based farming systems requires stable outlets, learning, and peer-networking. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0559-1>
- Mediene, S., Valantin-Morison, Sarthou, Tourdonnet, Gosme, Bertrand, Roger-Estrade, J., Aubertot, Rusch, Motisi, Pelosi, Doré, T., 2011. Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 491–514. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0009-1>
- Merot, A., Wery, J., 2017. Converting to organic viticulture increases cropping system structure and management complexity. *Agron. Sustain. Dev.* 37, 19. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0427-9>
- Merrien, A., Arjauré, G., Carof, M., Leterme, P., 2013. Freins et motivations à la diversification des cultures dans les exploitations agricoles : étude de cas en Vendée. *OCL* 20, D405. <https://doi.org/10.1051/ocl/2013009>
- Messéan, A., Viguié, L., Paresys, L., Aubertot, J.-N., Canali, S., Iannetta, P., Justes, E., Karley, A., Keillor, B., Kemper, L., Muel, F., Pancino, B., Stilmant, D., Watson, C., Willer, H., Zornoza, R., 2021. ENABLING CROP DIVERSIFICATION TO SUPPORT TRANSITIONS TOWARD MORE SUSTAINABLE EUROPEAN AGRIFOOD SYSTEMS. *Front. Agr. Sci. Eng.* 8, 474–480. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021406>
- 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, B., Bos, A.P. (Bram), 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices, in: *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer, Dordrecht, pp. 405–429. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18

- Meynard, J.-M., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., Lefèvre, A., Magrini, M.-B., Michon, C., 2017. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems* 157, 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.002>
- Meynard, J.-M., Messean, A., Charlier, A., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., Magrini, M.-B., Savini, I., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. (Rapport d'étude). Inra.
- Mignolet, C., Schott, C., Benoit, M., Meynard, J.M., 2012. Transformations des systèmes de production et des systèmes de culture du bassin de la Seine depuis les années 1970: une spécialisation des territoires aux conséquences environnementales majeures. *Innovations Agronomiques* (22), 1-16. (2012).
- Morel, K., Revoyron, E., Cristobal, M.S., Baret, P.V., 2020. Innovating within or outside dominant food systems? Different challenges for contrasting crop diversification strategies in Europe. *PLOS ONE* 15, e0229910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910>
- Moulin, C.-H., Ingrand, S., Lasseur, J., Madelrieux, S., Napoleone, M., Pluvinage, J., Thenard, V., 2008. Comprendre et analyser les changements d'organisation et de conduite de l'élevage dans un ensemble d'exploitations: propositions méthodologiques., in: *L'élevage En Mouvement. Flexibilité et Adaptation Des Exploitations d'herbivores.*, Update Sciences et Technologies. Editions Quae, p. np.
- Navarrete, M., 2009. How do Farming Systems Cope with Marketing Channel Requirements in Organic Horticulture? The Case of Market-Gardening in Southeastern France. *Journal of Sustainable Agriculture* 33, 552–565. <https://doi.org/10.1080/10440040902997785>
- Navarrete, M., Dupre, L., Lamine, C., Marguerie, M., 2012. Species diversification in market-garden farms and consequences on crop management, labour organization and marketing at farm and territorial scales. 10.European IFSA Symposium: Producing and reproducing farming systems. New modes of organisation for sustainable food systems of tomorrow, Aarhus, DNK, 2012-07-01-2012-07-04.
- Navarrete, M., Le Bail, M., Papy, F., Bressoud, F., Tordjman, S., 2006. Combining leeway on farm and supply basin scales to promote technical innovations in lettuce production. *Agronomy for Sustainable Development* 26, 77–87.
- Nettier, B., Dufour, A., Chabrat, S., Madelrieux, S., 2012. Conversion to organic farming and consequences on work organisation and work perception, in: *The 10th European IFSA Symposium*. p. 9 p.
- Nuijten, E., Wit, J. de, Janmaat, L., Schmitt, A., Tamm, L., Bueren, E.T.L. van, 2017. Understanding obstacles and opportunities for successful market introduction of crop varieties with resistance against major diseases. *Org. Agr.* 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0192-8>
- Ostrom, E., 2012. Why Do We Need to Protect Institutional Diversity? *Eur Polit Sci* 11, 128–147. <https://doi.org/10.1057/eps.2011.37>
- Padel, S., Levidow, L., Pearce, B., 2019. UK farmers' transition pathways towards agroecological farm redesign: evaluating explanatory models. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 0, 1–25. <https://doi.org/10.1080/21683565.2019.1631936>
- Papy, F., 2013. Système de culture — Les Mots de l'agronomie [WWW Document]. Les mots de l'agronomie. Histoire et critique. URL https://loexplor.istex.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Syst%C3%A8me_de_culture (accessed 4.27.22).
- Papy, F., 2001. Pour une théorie du ménage des champs: l'agronomie des territoires. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* 87, 139.

- Passos Medaets, J.P., Fornazier, A., Thomé, K.M., 2020. Transition to sustainability in agrifood systems: Insights from Brazilian trajectories. *Journal of Rural Studies* 76, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.03.004>
- Pastré, P., 2009. Didactique professionnelle et conceptualisation dans l'action. *Encyclopédie de la formation* 93–820.
- Patton, M.Q., 2005. Qualitative Research, in: *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science*. American Cancer Society. <https://doi.org/10.1002/0470013192.bsa514>
- Payne, S.M., Nicholas-Davies, P., Home, R., 2019. Harnessing Implementation Science and Self-Determination Theory in Participatory Research to Advance Global Legume Productivity. *Front. Sustain. Food Syst.* 3. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00062>
- Peoples, M.B., Hauggaard-Nielsen, H., Huguenin-Elie, O., Jensen, E.S., Justes, E., Williams, M., 2019. Chapter 8 - The Contributions of Legumes to Reducing the Environmental Risk of Agricultural Production, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 123–143. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00008-X>
- 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. *Agricultural Systems* 187, 102978. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102978>
- Preissel, S., Reckling, M., Schläfke, N., Zander, P., 2015. Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research* 175, 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.01.012>
- Quinio, M., Guichard, L., Salazar, P., Détienne, F., Jeuffroy, M.-H., 2022. Cognitive resources to promote exploration in agroecological systems design. *Agricultural Systems* 196, 103334. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103334>
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., Habib, R., 2011. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 273–303. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4>
- Reckling, M., Bergkvist, G., Watson, C.A., Stoddard, F.L., Bachinger, J., 2020. Re-designing organic grain legume cropping systems using systems agronomy. *Eur. J. Agron.* 112, UNSP 125951. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125951>
- Reckling, M., Hecker, J.-M., Bergkvist, G., Watson, C.A., Zander, P., Schläfke, N., Stoddard, F.L., Eory, V., Topp, C.F.E., Maire, J., Bachinger, J., 2016. A cropping system assessment framework—Evaluating effects of introducing legumes into crop rotations. *European Journal of Agronomy* 76, 186–197. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.005>
- Recous, S., Lashermes, G., Bertrand, I., Duru, M., Pellerin, S., 2019. Chapter 3 - C–N–P Decoupling Processes Linked to Arable Cropping Management Systems in Relation With Intensification of Production, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 35–53. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00003-0>
- Renard, D., Tilman, D., 2019. National food production stabilized by crop diversity. *Nature* 571, 257–260. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1316-y>
- Renwick, L.L.R., Bowles, T.M., Deen, W., Gaudin, A.C.M., 2019. Chapter 4 - Potential of Increased Temporal Crop Diversity to Improve Resource Use Efficiencies: Exploiting Water and Nitrogen Linkages, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 55–73. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00004-2>

- Ridier, A., Labarthe, P., 2019. Chapter 23 - Agricultural Policies and the Reduction of Uncertainties in Promoting Diversification of Agricultural Productions: Insights From Europe, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 361–374. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00023-6>
- Rip, A., Kemp, R., 1998. Technological change. *Human choice and climate change* 2, 327–399.
- Rizzo, D., Martin, L., Wohlfahrt, J., 2014. Miscanthus spatial location as seen by farmers: A machine learning approach to model real criteria. *Biomass and Bioenergy* 66, 348–363. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.02.035>
- Rodriguez, C., Dimitrova Mårtensson, L.-M., Zachrisson, M., Carlsson, G., 2021. Sustainability of Diversified Organic Cropping Systems—Challenges Identified by Farmer Interviews and Multi-Criteria Assessments. *Frontiers in Agronomy* 3, 75. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.698968>
- Roesch-McNally, G.E., Arbuckle, J.G., Tyndall, J.C., 2018a. Barriers to implementing climate resilient agricultural strategies: The case of crop diversification in the US Corn Belt. *Glob. Environ. Change-Human Policy Dimens.* 48, 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.12.002>
- Roesch-McNally, G.E., Basche, A.D., Arbuckle, J.G., Tyndall, J.C., Miguez, F.E., Bowman, T., Clay, R., 2018b. The trouble with cover crops: Farmers' experiences with overcoming barriers to adoption. *Renew. Agr. Food Syst.* 33, 322–333. <https://doi.org/10.1017/S1742170517000096>
- Rosenzweig, S.T., Carolan, M.S., Schipanski, M.E., 2020. A Dryland Cropping Revolution? Linking an Emerging Soil Health Paradigm with Shifting Social Fields among Wheat Growers of the High Plains. *Rural Sociology* 85, 545–574. <https://doi.org/10.1111/ruso.12304>
- Rosin, C.J., Legun, K.A., Campbell, H., Sautier, M., 2017. From compliance to co-production: Emergent forms of agency in Sustainable Wine Production in New Zealand. *Environ Plan A* 49, 2780–2799. <https://doi.org/10.1177/0308518X17733747>
- Rosset, P.M., Altieri, M.A., 1997. Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources* 10, 283–295. <https://doi.org/10.1080/08941929709381027>
- Ryschawy, J., Choisis, N., Choisis, J.P., Gibon, A., 2013. Paths to last in mixed crop-livestock farming: lessons from an assessment of farm trajectories of change. *Animal* 7, 673–681. <https://doi.org/10.1017/S1751731112002091>
- Ryschawy, J., Martin, G., Moraine, M., Duru, M., Therond, O., 2017. Designing crop–livestock integration at different levels: Toward new agroecological models? *Nutr Cycl Agroecosyst* 108, 5–20. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9815-9>
- 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>
- Schiller, K., Godek, W., Klerkx, L., Poortvliet, P.M., 2020. Nicaragua's agroecological transition: Transformation or reconfiguration of the agri-food regime? *Agroecology and Sustainable Food Systems* 44, 611–628. <https://doi.org/10.1080/21683565.2019.1667939>
- Schot, J., Geels, F.W., 2008. Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy. *Technology analysis & strategic management* 20, 537–554.

- Sebillotte, M., 1990. Systeme de culture, un concept operatoire pour les agronomes., in: Les Systèmes de Culture. INRA, Versailles, pp. 165–196.
- Sebillotte, M., 1974. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. Cahiers de l'ORSTOM 24, 3–25.
- Seufert, V., Mehrabi, Z., Gabriel, D., Benton, T.G., 2019. Chapter 28 - Current and Potential Contributions of Organic Agriculture to Diversification of the Food Production System, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), Agroecosystem Diversity. Academic Press, pp. 435–452. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00028-5>
- Slimi, C., 2022. La transformation des situations des agriculteurs et agricultrices en transition agroécologique: analyse du soutien des collectifs de pairs par le prisme de la théorie de l'enquête (phdthesis). AgroParisTech.
- Slimi, C., Prost, M., Cerf, M., Prost, L., 2021. Exchanges among farmers' collectives in support of sustainable agriculture: From review to reconceptualization. Journal of Rural Studies. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.01.019>
- Sodjahin, I.R., Femenia, F., Koutchade, O.P., Carpentier, A., 2022. On the economic value of the agronomic effects of crop diversification for farmers: estimation based on farm cost accounting data.
- Stirling, A., 2015. Emancipating Transformations: From controlling 'the transition' to culturing plural radical progress¹, in: The Politics of Green Transformations. Routledge.
- Stock, P.V., Forney, J., Emery, S.B., Wittman, H., 2014. Neoliberal natures on the farm: Farmer autonomy and cooperation in comparative perspective. Journal of Rural Studies 36, 411–422. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2014.06.001>
- Stone, G.D., 2016. Towards a General Theory of Agricultural Knowledge Production: Environmental, Social, and Didactic Learning. Culture, Agriculture, Food and Environment 38, 5–17. <https://doi.org/10.1111/cuag.12061>
- Storkey, J., Bruce, T.J.A., McMillan, V.E., Neve, P., 2019. Chapter 12 - The Future of Sustainable Crop Protection Relies on Increased Diversity of Cropping Systems and Landscapes, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), Agroecosystem Diversity. Academic Press, pp. 199–209. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00012-1>
- Šumane, S., Kunda, I., Knickel, K., Strauss, A., Tisenkopfs, T., Rios, I. des I., Rivera, M., Chebach, T., Ashkenazy, A., 2018. Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. Journal of Rural Studies 59, 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.01.020>
- Sutherland, L.-A., Burton, R.J.F., Ingram, J., Blackstock, K., Slee, B., Gotts, N., 2012. Triggering change: towards a conceptualisation of major change processes in farm decision-making. J. Environ. Manage. 104, 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.013>
- Sutherland, L.-A., Marchand, F., 2021. On-farm demonstration: enabling peer-to-peer learning. The Journal of Agricultural Education and Extension 27, 573–590. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2021.1959716>
- Tittonell, P., 2014. Ecological intensification of agriculture—sustainable by nature. Current Opinion in Environmental Sustainability, SI: Sustainability governance and transformation 8, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006>
- Tittonell, P., Piñeiro, G., Garibaldi, L.A., Dogliotti, S., Olff, H., Jobbagy, E.G., 2020. Agroecology in Large Scale Farming—A Research Agenda. Frontiers in Sustainable Food Systems 4.

- Toffolini, Q., 2016. Produire des connaissances actionnables pour la re-conception pas-à-pas de systèmes de culture vers l'agroécologie. AgroParisTech, Paris.
- 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-Wageningen Journal of Life Sciences* 80, 37–47.
- Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., 2016. Indicators used by farmers to design agricultural systems: a survey. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0340-z>
- Valencia, V., Wittman, H., Blesh, J., 2019. Structuring Markets for Resilient Farming Systems. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 25. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0572-4>
- van der Ploeg, J.D., 2014. Les paysans du XXIe siècle: mouvements de repaysanisation dans l'Europe d'aujourd'hui, Essai. Charles Léopold Mayer, Paris.
- van Vliet, J., de Groot, H.L.F., Rietveld, P., Verburg, P.H., 2015. Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe. *Landscape and Urban Planning* 133, 24–36. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001>
- Vankeerberghen, A., Dannevoye, B., Stassart, P.M., 2014. Chapitre 3 - L'insularisation comme mode de transition. Le cas de l'agriculture de conservation en Région wallonne, in: *Sociologie des grandes cultures, Nature et société*. Éditions Quæ, Versailles, pp. 61–76. <https://doi.org/10.3917/quae.berna.2014.01.0061>
- Vanloqueren, G., Baret, P.V., 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research policy* 38, 971–983.
- Vanloqueren, G., Baret, P.V., 2008. Why are ecological, low-input, multi-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study. *Ecological Economics* 66, 436–446. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.10.007>
- Vermersch, P., 1990. Questionner l'action: l'entretien d'explicitation. *Psychologie française* 35, 227–235.
- Warner, K., 2007. *Agroecology in action: Extending alternative agriculture through social networks*. MIT Press.
- Wayman, S., Kucek, L.K., Mirsky, S.B., Ackroyd, V., Cordeau, S., Ryan, M.R., 2017. Organic and conventional farmers differ in their perspectives on cover crop use and breeding. *Renewable Agriculture and Food Systems* 32, 376–385. <https://doi.org/10.1017/S1742170516000338>
- Weisberger, D., Nichols, V., Liebman, M., 2019. Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. *PLOS ONE* 14, e0219847. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219847>
- Wilson, C., Tisdell, C., 2001. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economics* 39, 449–462. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00238-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00238-5)
- Wilson, G.A., 2008. From 'weak' to 'strong' multifunctionality: Conceptualising farm-level multifunctional transitional pathways. *Journal of rural studies* 24, 367–383.
- Wolf, S.A., Primmer, E., 2006. Between Incentives and Action: A Pilot Study of Biodiversity Conservation Competencies for Multifunctional Forest Management in Finland. *Society & Natural Resources* 19, 845–861. <https://doi.org/10.1080/08941920600835601>
- Wright, E.O., 2010. *Envisioning real utopias*. Verso.

BIBLIOGRAPHIE

- Yvoz, S., Petit, S., Biju-Duval, L., Cordeau, S., 2020. A framework to type crop management strategies within a production situation to improve the comprehension of weed communities. *European Journal of Agronomy* 115, 126009. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126009>
- Zander, P., Amjath-Babu, T.S., Preissel, S., Reckling, M., Bues, A., Schläfke, N., Kuhlman, T., Bachinger, J., Uthes, S., Stoddard, F., Murphy-Bokern, D., Watson, C., 2016. Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 26. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0365-y>

ANNEXES

Liste des annexes :

1. Innovating within or outside dominant food systems? Different challenges for contrasting crop diversification strategies in Europe
2. Guides d'entretien
3. Liste des systèmes d'approvisionnement identifiés dans les trois territoires d'étude
4. Deliverable 5.3: Main drivers for farmers' choices related to crop diversification
5. Report. Addressing barriers to crop diversification: key elements of solutions identified across 25 case studies

1 INNOVATING WITHIN OR OUTSIDE DOMINANT FOOD SYSTEMS? DIFFERENT CHALLENGES FOR CONTRASTING CROP DIVERSIFICATION STRATEGIES IN EUROPE

RESEARCH ARTICLE

Innovating within or outside dominant food systems? Different challenges for contrasting crop diversification strategies in Europe

Kevin Morel^{1,2*}, Eva Revoyron^{2,3}, Magali San Cristobal⁴, Philippe V. Baret¹

1 SyTra, Earth and Life Institute, UCLouvain, Louvain-la-Neuve, Belgium, **2** UMR SADAPT, INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, Paris, France, **3** USC LEVA, INRAE, Ecole Supérieure d'Agricultures, Angers, France, **4** UMR 1201 DYNAFOR, INRAE, Université de Toulouse, Toulouse, France

* kevin.morel@inrae.fr



Abstract

Innovations supporting a shift towards more sustainable food systems can be developed within the dominant food system regime or in alternative niches. No study has compared the challenges faced in each context. This paper, based on an analysis of 25 cases of European innovations that support crop diversification, explores the extent to which barriers to crop diversification can be related to the proximity of innovation settings with dominant food systems. Drawing on a qualitative analysis of interviews and participatory brainstorming, we highlight 46 different barriers to crop diversification across the cases, at different levels: production; downstream operations from farm to retailing, marketing and consumers; and contracts and coordination between actors. To characterise the diversity of innovation strategies at food system level, we introduce the concept of “food system innovation settings” combining: (i) the type of innovative practice promoted at farm level; (ii) the type of value chain supporting that innovation; and (iii) the type of agriculture involved (organic or conventional). Through a multiple correspondence analysis, we show different patterns of barriers to crop diversification according to three ideal-types of food system innovation settings: (i) “Changing from within”, where longer rotations are fostered on conventional farms involved in commodity supply chains; (ii) “Building outside”, where crop diversification integrates intercropping on organic farms involved in local supply chains; and (iii) “Playing horizontal”, where actors promote alternative crop diversification strategies—either strictly speaking horizontal at spatial level (e.g. strip cropping) or socially horizontal (arrangement between farmers)—without directly challenging the vertical organisation of dominant value chains. We recommend designing targeted research and policy actions according to the food systems they seek to develop. We then discuss further development of our approach to analyse barriers faced in intermediate and hybrid food system configurations.

OPEN ACCESS

Citation: Morel K, Revoyron E, San Cristobal M, Baret PV (2020) Innovating within or outside dominant food systems? Different challenges for contrasting crop diversification strategies in Europe. *PLoS ONE* 15(3): e0229910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910>

Editor: Til Feike, Julius Kuhn-Institut, GERMANY

Received: June 19, 2019

Accepted: February 17, 2020

Published: March 12, 2020

Peer Review History: PLOS recognizes the benefits of transparency in the peer review process; therefore, we enable the publication of all of the content of peer review and author responses alongside final, published articles. The editorial history of this article is available here: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910>

Copyright: © 2020 Morel et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: Data files are available from the Zenodo database (https://zenodo.org/record/3249967#XQoQoo_gpPY)

Funding: This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and

1 Introduction

Transition toward more sustainability requires changes in food systems [1–4]. While agroecology scholars initially emphasised the need for sustainable innovations at the farm level [5–7], social movements and researchers have increasingly acknowledged the necessity to analyse

innovation programme (<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>) under grant agreement No 72748. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

and support innovations at all levels of the food system [8–10], including all the actors, infrastructures, processes and activities related to the production, transport, processing, distribution, and consumption of food [11].

The adoption of more sustainable farming practices at a large scale is limited because the dominant food systems are shaped by a locked-in socio-technical regime [12–16]. The concepts of socio-technical regime and lock-in originated respectively from the multi-level perspective theory [17–19] and from economic studies on technological change [20, 21]. A dominant food system regime in a given biophysical, infrastructural and institutional context “represents mainstream social and technical elements dominated by conventional industrial farming and value chains controlled by large-scale and powerful agri-food industries and companies” [2]. The food system regime relies on a coherent set of procedures, cognitive routines, existing technologies, rules, skills, and values which shape the action of the food system actors from production to consumption [19, 22]. All those elements have co-evolved historically (path-dependency) and reinforce one another, resulting in the system’s perpetuation and stability (lock-in).

Transition studies traditionally draw a contrast between incremental innovations, which are partial adaptations carried out by actors within the dominant regime, and radical innovations, which are developed and tested in niches created by outsider networks, guided by strong alternative values and/or new performance criteria [18, 19, 22, 23]. Many agroecology-related scholars have argued that sustainability issues require radical innovations, and have focused on ways to support alternative niche food systems such as organic farming, and to create appropriate conditions to transform dominant food regimes [1, 9, 22, 24–28]. However, radical innovation niches that support more sustainable food systems can also be developed by actors within the dominant food system [15, 29]. For example, the industrial French processor Valorex organised the coordination of mainstream value chain actors to promote omega-3-rich products from animals fed with linseeds (an innovative crop improving agricultural rotations). This was done through the dedicated Bleu-Blanc-Coeur label. Another case in point is the Qualisol cooperative which developed large equipment and invested heavily in R&D to encourage lentil-wheat intercropping with guaranteed minimal prices to secure the incomes of farmers taking the related risks [30].

To what extent are the barriers to sustainable innovation at different levels of food systems dependant on innovation settings? To our knowledge, no study has compared the challenges of innovating within or outside the dominant food systems, with similar objectives. Most sustainable agriculture transition studies have explored the challenges for innovations designed either outside the dominant food systems [1, 22, 24, 26–28] or within them [14–16, 30, 31].

In this paper we investigate the above question, analysing 25 European innovation cases in which crop diversification was promoted. Crop diversification is a pillar of agroecological transition [16, 32] that has been less studied than other sustainable agriculture approaches such as pesticide reduction or organic farming, and never in a European context.

Our analytical framework is inspired by (i) concepts from the multi-level perspective on socio-technical transitions [13–19] to investigate innovation settings in relation to their proximity with the dominant regime; and (ii) recent agroecology literature arguing that supporting innovation in food systems requires a preliminary characterisation of their structure and different interrelated components [2, 33]. We introduce the concept of “food system innovation settings” (see Section 2.1) to characterise the diversity of innovation strategies at food system level. Through a multiple correspondence analysis (MCA) we are able to link specific combinations of barriers to crop diversification, on the one hand, to the proximity of innovation settings with the dominant food system regime in terms of agricultural practices and type of value chains, on the other. Based on the three ideal-types of food system innovation settings,

we suggest that targeted research and policy actions be designed according to the food systems they seek to develop. We discuss further development of our approach to analyse barriers in intermediate and hybrid food system configurations.

2 Material and methods

2.1 Contrasting food system innovation settings for crop diversification in Europe

Crop diversification faces a typical situation of socio-technical lock-in of dominant food regimes [16]. It could be a pillar of agroecological transition, as it potentially has multiple sustainability benefits, such as reduced yield gaps and dependency on external inputs, increased biodiversity, limited economic risks, more varied landscapes, and enhanced provision of diverse ecosystem services [16, 32, 34]. Despite such well-known benefits, various studies have shown the adoption of diversification practices to be limited by barriers at all levels of food systems. These barriers are related to “regime rules” [19] historically established to support large-scale specialisation and short-term maximisation of profits with chemical inputs [16, 31, 35–38]. We posit that crop diversification is specifically relevant as it can be promoted both outside and within the regime [2, 30].

Our research is based on 25 cases of innovations promoting crop diversification at the food system level in 11 European countries (Table 1) within the DiverIMPACTS multi-actor project (<https://www.diverimpacts.net/>). In line with the rationale of this European project, the 25 cases were initially selected to cover a wide range of situations as far as farms’ pedoclimatic conditions and diversification strategies were concerned. This initial selection did not take into account the type of value chain and/or agriculture (organic or conventional), which explains that the cases design is not optimal with regard to the variables considered in this study.

Each case was led and monitored by an “innovation team” of two local actors who were in charge of stimulating collaboration between research bodies, farmers, farmers’ organisations, associations, industries, businesses and public institutions.

The “new” crops promoted in each case were widely diverse in terms of context and objectives, ranging from leguminous crops such as alfalfa, clover, soybean, lentils, lupine, various types of peas and beans, to oleic crops such as rapeseed, hemp, sunflower, gold-of-pleasure (*Camelina sativa*) and milk thistle (*Silybum marianum*), to minor grain crops (at least in Europe) such as sorghum, buckwheat, quinoa, and millet, and finally vegetables. Each case focused on one or more diversification crop, either to be used for animal feed, or for human food, or both.

To account for the diversity of innovation strategies and contexts, we define “food system innovation setting” as the combination of: (i) the type of innovative practice promoted at the farm level; (ii) the type of value chain supporting that innovation; and (iii) the type of agriculture involved (organic or conventional). This definition echoes the characterisation of food systems as interrelated components [2, 39] of: (i) the agricultural production system; (ii) the value chain; and (iii) the support structures (advisory, R&D, innovation policy, etc.). In our case, the type of agriculture is related both to the agricultural production system and to the support structures which often differ for organic and conventional agriculture.

Among the 25 cases, we characterised three categories of diversification practices, value chains and types of agriculture, based on a preliminary qualitative analysis of interviews with innovation teams (see part 2.2). These categories were tailored to reflect the preliminary links that we found between the diversity of innovation settings and existing barriers (before running the multiple correspondence analysis described in Part 2.3).

The three different innovative farming strategies considered were (Fig 1):

Table 1. Characteristics of the 25 food system innovation settings of crop diversification in Europe.

Diversification farming strategy	Value chain	Agriculture type	Country	Case ID
Temporal	Commod	Including conv	Germany	3
Temporal	Commod	Including conv	Romania	8
Temporal	Commod	Including conv	France	13
Temporal	Commod*	Including conv	France	25
Temporal	Local	Only organic	Switzerland	6
Temporal	Local	Only organic	Hungary	7
Temporal	Local	Only organic	Poland	10
Temporal	Local	Only organic	Netherlands	23
Temporal	Arrang	Including conv	France	11
Temporal	Arrang	Only organic	Belgium	21
Spatial	Local	Including conv	Italy	9
Spatial	Local	Including conv	Italy	22
Spatial	Local	Only organic	Netherlands	16
Spatial	Arrang	Including conv	United Kingdom	2
Spatial	Arrang	Including conv	Belgium	4
With intercrop	Commod	Including conv	France	5
With intercrop	Commod	Including conv	Belgium	12
With intercrop	Commod	Including conv	France	14
With intercrop	Commod	Including conv	Belgium	17
With intercrop	Local	Including conv	United Kingdom	15
With intercrop	Local	Only organic	Belgium	18
With intercrop	Local	Only organic	Sweden	19
With intercrop	Local	Only organic	Switzerland	20
With intercrop	Local	Only organic	United Kingdom	24
With intercrop	Arrang	Including conv	Netherlands	1

Diversification farming strategy: [Temporal]: only temporal crop diversification; [Spatial]: including spatial crop diversification with no separation of harvested crops; [With intercrop]: including intercropping.

Value chain: [Commod]: crop diversification products target the commodity market and/or the agroindustry; [Local]: diversification products target local markets at the regional or national level; [Arrang]: diversification crops produced by plant producers are used by livestock farmers at the local level (direct arrangement between farmers).

Agriculture type: [Including conv]: the case includes conventional farmers (10 cases involve both organic and conventional farmers); [Only organic]: only organic farmers are involved in the case (no conventional farmers).

Modalities of variables describing the innovation setting were designed to ensure at least 5 occurrences of each.

*In that case commodity and local value chains coexist. However, during interviews, the innovation teams focused on the barriers linked to long value chains.

The cases are called by their ID in the DiverIMPACTS project, to make it easier to find more information on the project website: <https://www.diverimpacts.net/case-studies.html>

The description of the different cases corresponds to their innovation strategy in the initial phase of the project (late 2018, early 2019) when interviews were carried out. Some of them have since evolved.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910.t001>

- **Temporal crop diversification:** new crops are integrated into the crop rotation before or after another crop, either as a main cash crop (e.g. introducing sunflower after maize), as a fodder crop (e.g. introducing a 2-year cycle of alfalfa before wheat) or as a winter cover crop (e.g. sowing a plant mixture including leguminous crops to cover the soil and absorb nutrients during winter after a crop harvested in summer and before sowing a crop in the spring);
- **Spatial crop diversification** (with no separation of harvested crops): new and/or pre-existing crops are combined at the same time on the same plot to increase biodiversity and spatial

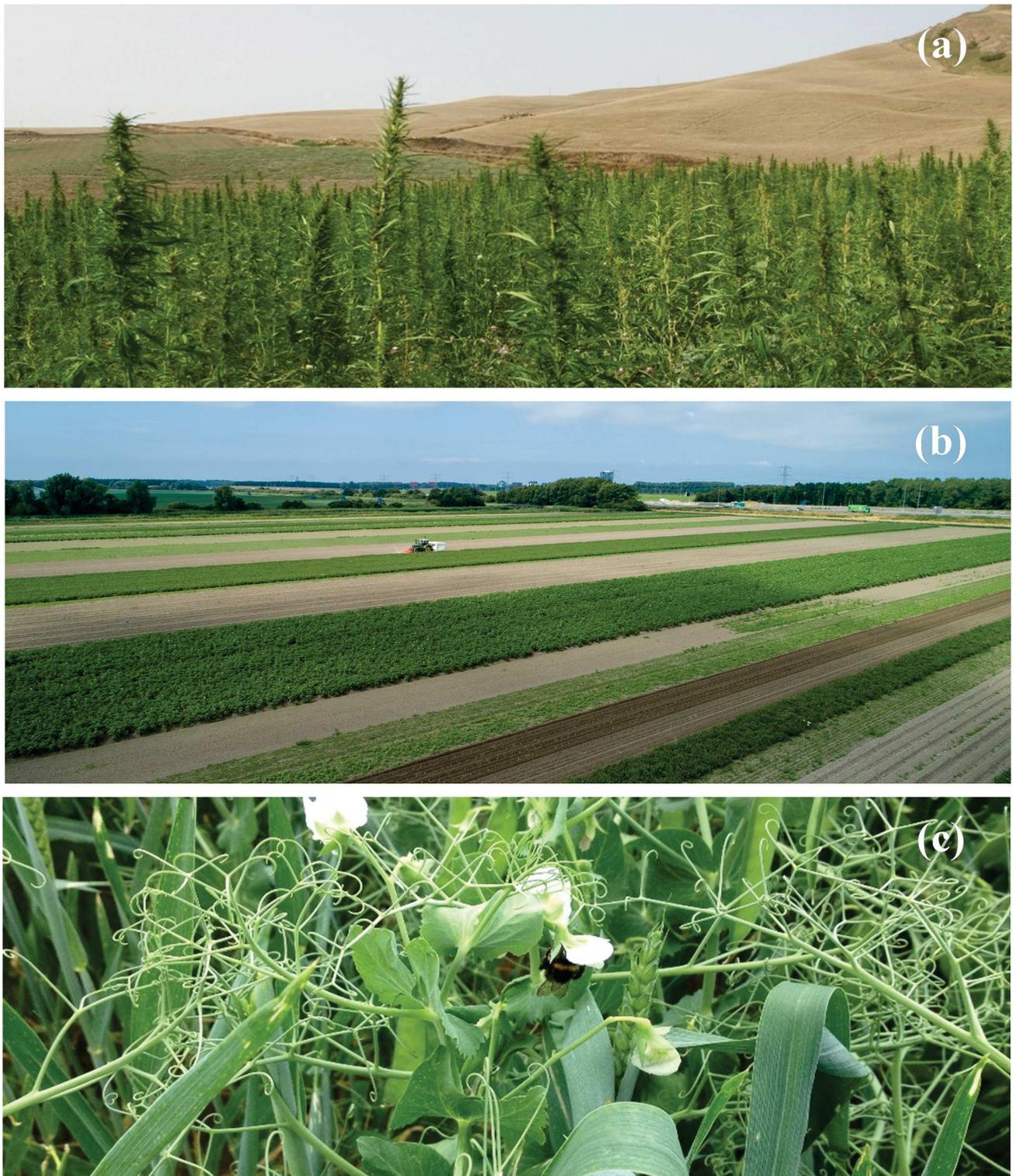


Fig 1. Temporal diversification integrating hemp (longer rotations) in Sicily (a), strip cropping (spatial diversification) in the Netherlands (b), intercropping of wheat and winter pea in Belgium (c). Credit: Luca Colombo (a), Bionext (b), Walagri (c).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910.g001>

heterogeneity at the field level. The cases in our study involved either plant mixes (e.g. new types of leguminous crops were mixed and sown together with winter cover crops) or strip cropping [40], in which crops are combined in distinct strips (e.g. 6, 12, 24 or 48m wide strips of grass/clover, carrots, potatoes, onions, Brussels sprouts in a field where normally only one crop will be grown). Crops do not need to be separated because they are either used together after harvest (e.g. as a fodder mix), are not harvested (e.g. in the case of a multi-species winter cover crop that is ploughed into the soil to build up fertility before sowing a new crop), or are harvested separately (in the case of strip cropping).

- **Intercropping:** we use intercropping here in a narrow sense to refer to a specific case of spatial crop diversification where crops are grown and harvested together, and then need to be separated to be used separately (e.g. winter pea and wheat sown at the same time in the same field).

Cases with spatial crop diversification or with intercrops often implement *de facto* temporal diversification because the new intercrop spatial configuration is integrated into a longer rotation. We chose to distinguish intercropping from other types of crop spatial diversification based on the need to separate crops after harvest. This was because both previous literature [35, 41] and qualitative analysis of our interviews show that crop separation introduces specific barriers into the cropping design, management and post-harvest phases.

To sell the products of crop diversification, the actors relied or sought to develop value chains oriented towards three types of outlet:

- **Commodity market:** products target long chains and possible export, often involving big agro-industry players. Localness is not an objective as such;
- **Local market:** products target local markets at the regional or national level with shorter chains involving essentially small-scale processing, and promoting alternative food systems;
- **Arrangement with livestock farmers:** products are used as feed (after harvesting or directly through on-plot grazing) by local livestock farmers through direct transactions based on a crop-livestock integration logic [42, 43]. Land exchanges can also be involved, e.g. when a livestock farmer uses arable farmland for 1 or 2 years to grow a grassland (bringing plant diversity into the arable crop rotation), while a livestock farmer grows cereal crops on arable land (for plant diversity between two grassland phases).

We also characterised cases according to the agriculture type: involving only conventional farmers, only organic farmers, or both (Table 1). This categorisation is based on the assumption that conventional farmers may face more barriers to crop diversification at the farm level because the development of conventional agriculture since World War II has relied on specialisation. Conversely, crop diversification has always been a pillar of organic agriculture.

2.2 Characterising barriers to crop diversification

To characterise barriers to crop diversification in each of the 25 innovation settings, we followed a multi-step procedure described in Fig 2.

In a first round, 5 workshops were organised, each involving 5 different innovation teams out of 25. Each team was involved individually in a 2-hours brainstorming (Fig 3a) based on the drawing of “problem trees” [44, 45]. This method aimed at investigating the different barriers that could limit or impede the diversification process, and the causes behind the actual

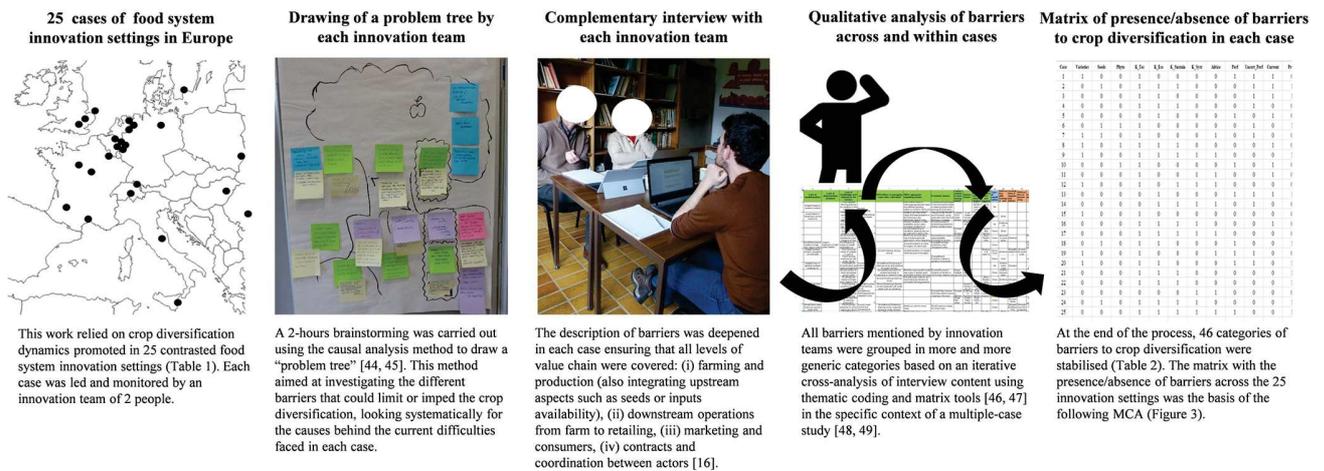


Fig 2. Presentation of the different methodological steps involved in the characterisation of barriers to crop diversification across the 25 European food system innovation settings. The individual appearing here has given written informed consent (as outlined in PLOS consent form) to publish these case details.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910.g002>

difficulties faced in each context. During the brainstorming exercise we took notes on the discussions within each innovation team and on the information drawn on the "problem tree". A synthetic report was also drawn up by each team to provide an overview of the issues identified.



Fig 3. An innovation team brainstorming on a "problem tree" in the first-round workshop (a) and a complementary interview in the second-round workshop (b). Each innovation team consists in 2 participants (case leader and monitor). Additional persons are scientists facilitating the process or carrying out the interview. The individuals appearing here gave us written informed consent (as outlined in PLOS consent form) to publish these case details.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910.g003>

In a second round of workshops (4 months later in average), a short 30-minute complementary interview (Fig 3b) was carried out with every innovation team. Note that innovation team leaders and monitors mostly belonged to farming-related organisations (farmer's associations, agricultural R&D, extension or advisory services), which may create a bias in the perception of barriers at different levels of the value chain (see Discussion). To mitigate that bias, innovation teams were encouraged, before complementary interviews, to contact as many value chain actors as possible (farmers, processors, retailers etc.) in order to collect information about barriers at different levels of the food system. To support innovation teams in that task, we provided them with guidelines and a structured data collection framework (S1 Appendix).

During second-round complementary interviews with innovation teams, participants were asked to deepen the description of barriers to diversification at different levels of value chains. Interviewers ensured that all levels were covered: (i) farmers and production; (ii) downstream operations from farm to retailing; (iii) marketing and consumers; and (iv) contracts and coordination between actors. Those 4 categories, with a specific focus on coordination, were inspired by a previous study on factors impeding crop diversification [16]. We aggregated the notes taken during first-round brainstorming and second-round complementary interviews, as well as the first-round reports, to build the final "qualitative material" of our study. We then carried out qualitative analysis of this material using thematic coding and matrix tools [46, 47]. The general aim of this approach was to build more and more abstract categories on the basis of an iterative cross-analysis of interview contents from the multiple cases [48, 49]. This resulted in the categorisation of 46 barriers (Table 2) to crop diversification. The level of abstraction to characterise barriers was linked to the level of precision used by innovation teams to describe them. For example, innovation teams very specifically discussed many aspects of farmers' lack of knowledge and references. This is why we chose to distinguish 3 specific categories of barriers related to this lack of knowledge: technical implementation of farming practices (K_Tec); impact of new practices on the sustainability of the farm (K_Sustain); and impact of new practices on the global design of the farming system (K_Syst). Conversely, for other barriers, innovation teams mentioned very generic challenges with limited precision, which resulted in broader categories. For example, we considered a single category for challenges related to the Common Agricultural Policy (CAP) environmental or sanitary regulations, even though it may embrace various fields of application and impacts.

We built a matrix with the presence/absence of 46 barriers (Table 2) across the 25 innovation settings. The final dataset presenting barriers to crop diversification according to the characteristics of the 25 cases is available at: https://zenodo.org/record/3249967#.XQoQoo_gpPY

This dataset was the basis of the following MCA.

All interviewed human participants belonged to organisations which were partners of the DiverIMPACTS project. This study was approved by the Executive Committee of the DiverIMPACTS project (European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 72748). Consent was obtained orally and data analysed anonymously. The content of this paper and the related use of case-study data was submitted to all DiverIMPACTS partners allowing complaints or modification requests before submission.

2.3 Analysing links between barriers and innovation settings

Our objective was to explore the extent to which barriers to crop diversification could be specifically related to contrasting food system innovation settings. We performed a multiple correspondence analysis (MCA) of the presence/absence of the 46 barriers to crop diversification that we had highlighted across the 25 cases (with the following R-packages: FactoMineR [50,

Table 2. Occurrence of barriers to diversification in the 25 case studies and their links to the ideal-types of food system innovation setting.

	Barriers to crop diversification	Code	n	W	O	H
Agricultural production	Lack of technical knowledge and references	K_Tec	21			
	Lack of economic knowledge and references	K_Eco	16		0	1
	Need for investment for adapted machinery	Machin_Invest	13	0	1	0
	Lack of knowledge and references about impacts on sustainability	K_Sustain	12	1	0	
	Profitability is low, problematic or uncertain	Profit	11	0		1
	Uncertainties, risks and variability of agronomic performances	Uncert_Perf	10			
	Lack of technical knowledge on the impact on farming systems and design	K_Syst	9	1	1	
	Lack of information because of problems with advisory context	Advice	9	1		
	Current situation is still profitable in the short term	Current	9	1		
	Constraints in labour organisation (period, volume), mental or physical load	Work	9		0	1
	Barriers related to CAP*, environmental or sanitary regulations	Reg	9			1
	Lack of adapted plant varieties in the local context	Varieties	8			
	Need for innovation in machinery for field activities	Machin_Innov	8	1	0	
	Low agronomic performance (yield, quality)	Perf	8		1	
	Increased complexity for management and decision-making	Complex	8			
	Cultural barriers, confrontation with farming practices of parent's generation	Trad	7			
	Cognitive frame and ways of thinking need to be changed	Cogni	6			1
	Seeds are hard or expensive to get	Seeds	5			
	Farmers' lack of awareness about issues linked to specialisation	Awar_Farm	5	1	0	
	Lack of available or adapted phytosanitary solutions	Phyto	3	1	0	
From harvest to retail	Volumes are too limited in a given area to be profitably or easily collected	Coll_Vol	16	1	0	
	Equipment for cleaning, drying or storing requires investment	Pre_ProInvest	11			0
	Equipment for processing requires investment	Process_Invest	11			
	Competition on the global market with crops produced cheaper elsewhere (for processors or retailers)	Compet	9		1	0
	Equipment for separation of crops requires investment	Separ_Invest	8		1	0
	Equipment for processing requires innovation	Process_Innov	5		1	
	Regulation issues around sanitary, quality and purity aspects	Qualsan	5			
	Equipment for cleaning, drying or storing requires innovation	Pre_ProInnov	4		1	0
	Administrative, fiscal or accounting issues	Admin	4			1
	Equipment for separation of crops requires innovation	Separ_Innov	3		1	
	Traders are reluctant to support solutions which may reduce the inputs they sell	Input	3	1		
	Dealing with diversification products incurs higher costs	Cost	3		1	
Market	Need to raise consumers' awareness or bad visibility of diversification benefits	Awar_Comm	17	0		1
	Uncertain or unstable market	Uncert_Mark	14		1	
	No pre-existing or very limited market	Exist_Mark	13	1		
	Doubts about willingness of consumers to pay more for diversification products	Willing	9	1		
Coordination between value chain actors	No ensured and/or fair sharing of added value between actors	Price	17		1	0
	No ensured or limited volumes to buy/sell products or establish secure contracts	Quant	12		1	0
	Duration of contracts not enough to secure farmers in taking risks and investing	Dura	10	1		
	Limited or no cooperation between innovative farmers	Orga	8	1	0	
	Individualistic mentality and lack of trust between farmers limit collective action	Indiv	7	1		
	Unbalanced power in bargaining between farmers and traders	Power	7	1	0	
	Finding suitable contracts to address issues related to variability in production (flexibility, sharing risks and reducing control costs)	Variab	7			
	Lack of communication between value chain actors	Comm	6		1	1
	No ensured quality of products to be bought, sold or to establish secure contracts	Qual	4		1	
	No ensured reciprocal benefits in partnership (especially for land arrangements)	Benef	4			1

n: number of occurrences of the related barrier among the 25 case-studies. W: "Changing from within" ideal-type; O: "Building outside" ideal-type; H: "Playing horizontal" ideal-type. "1" (with colour related to the value chain level) indicates that the presence of the corresponding barrier was visually linked on MCA to the corresponding innovation setting ideal-type (Fig 4). "0" indicates a link between the absence of the barrier and the innovation setting. The grey colour indicates barriers which were not linked to any ideal-type in particular (transversal);

*Common Agricultural Policy (European Union).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910.t002>

[51] and Factoextra [52]). Farming strategies, value chains and type of agriculture shaping the food system innovation setting (Table 1) were integrated as supplementary variables in the MCA to analyse their links to groups of barriers.

In our analysis, we examined the first four dimensions (axis 1 to 4) of the MCA, explaining 42% of total variance (S1 Fig). For each 2-axes projection, only the supplementary variables and barriers most linked to the axes were kept in the analysis (cut-off: v -test absolute value higher than 0.8 for one of the dimensions, corresponding to an alpha error of 10%).

Based on the MCA outputs, we visually connected barriers to three “ideal-types” of food system innovation settings (described in Section 3), which were specific combinations of innovation modalities described by the supplementary variables. The number, visual determination and limits of those groups were guided by the qualitative analysis of material collected with the different innovation teams. We use the term “ideal-types” in the sense of Weberian sociology, to describe theoretical constructs created by researchers to emphasise and understand tendencies observed in the complex reality [53]. The goal of ideal-types is thus not to put concrete cases in one specific category but rather to use such conceptual categories as a heuristic tool to discuss reality, assuming that we can better understand a concrete case while exploring the extent to which and the ways in which it diverges from a particular ideal-type or shares the characteristics of different ideal-types (see Part 5). All statistical analyses were carried out on R (Version 3.5.1). A detailed summary and plots of the different steps of statistical analyses can be found in the supporting information.

3 Results

In Part 3.1 we provide a first general description of barriers to crop diversification highlighted in this study. The 3 ideal-types of food system innovation settings: (“Changing from within”, “Building outside”, “Playing horizontal”) and the barriers they are specifically linked to are detailed in Part 3.2.

3.1 A diversity of barriers to crop diversification at all value chain levels

A wide variety of barriers to crop diversification (46) is highlighted across the 25 cases, at all levels of value chains from farming to marketing (Table 2). Cases mention in average 16 ± 4 barriers (“ \pm ” stands for standard deviation throughout the paper): 7 ± 2 at the production level, 3 ± 2 for operations from farm to retail, 3 ± 2 around coordination issues and 2 ± 1 related to markets.

Among the 25 cases, major barriers to crop diversification at the farm level are related to the lack of technical knowledge and references regarding minor crops and crop diversification, the absence of suitable equipment on the farm, the lack of crop varieties adapted to the local context, fears of increased complexity and uncertainties requiring cognitive changes in farmers’ for decision making, and public regulations which do not create strong incentives to diversify.

Downstream of value chains, logistics is a major issue with high costs and no suitable facilities to collect, store and manage small volumes of new crops for actors who historically targeted economies of scale while focusing on large volumes of a reduced number of crops. New crops often compete on the global market with other or similar crops that can be produced cheaper elsewhere. Lack of coordination and designing suitable contracts between chain actors are also highlighted as a real challenge. The necessity of finding or building fair, stable and sufficiently large markets for new products is likewise mentioned as a major barrier. Many doubts are expressed about consumers’ willingness to pay more for new differentiated products, so that initial higher transaction costs can be covered to start up new value chains and stimulate

production and interest. A majority of cases highlight difficulties in making benefits of diversification crops visible and understandable to consumers. They underline the fact that the lack of consumers' awareness around issues related to crop diversification and developing adequate communication are central challenges.

3.2 Links between barriers and ideal-types of food system innovation settings

Some barriers are not specifically linked to innovation settings, for example the lack of technical knowledge and references for implementing new crops that can be considered to exist across cases (Table 2, Fig 4). We were nevertheless able to link 37 barriers more specifically to 3 ideal-types of food system innovation setting (Fig 4), detailed below. In the text, "1" following the barrier code denotes its presence and "0" its absence.

3.2.1 Changing from within. This ideal-type relates to an innovation setting within the dominant food systems, corresponding to: (i) temporal diversification, which is the most common strategy of crop diversification; (ii) targeting commodity markets; and (iii) including mostly conventional farmers.

A concrete example could be the integration of chickpea or soy in conventional rotations for export in large volumes to the Middle East, to be processed there as hummus for mass consumption or cultivated for the feed industry. 15 barriers were linked to that ideal-type.

In such cases, farmers are generally not well aware or convinced of sustainability issues around simplified farming systems, or of the benefits they could derive from crop diversification (Awar_Farm_1). It is difficult for them to perceive the advantages of adopting crop diversification because their situation is still profitable in the short-term in the current economic and regulatory context, especially given the low prices of fertilisers and pesticides, which are not an incentive to move towards systems with less dependency on external inputs (Current_1; Reg_1; Prof_0). To convince them to switch to more agroecological systems, there needs to be more available knowledge and references proving the potential benefits of crop diversification for the sustainability of their farm (K_Sustain_1).

There is also found to be a lack of knowledge and references about the impacts of integrating new crops or practices at the farming system level (K_Syst_1). For some conventional farmers, it is quite challenging to develop systemic thinking of longer rotations, and to integrate into their decision making the idea that one new crop could have positive impacts for several years. This could be explained by an approach to farming oriented primarily to short-term profits and quick reactivity to commodity markets. This lack of systemic long-term thinking is reinforced by the fact that most agricultural advice given to conventional farmers is focused on short-term production, with references to annual gross margins at the crop level and no accounting for the multi-year effects of crop diversification. (Advice_1). At the farm level, conventional farmers also raise questions about the fact that for some new crops, no satisfactory crop protection solutions based on pesticides exist (Phyto_1). Conventional farmers in commodity value-chains often receive most of their agricultural advice either from cooperatives or from traders who both buy their crops and sell them fertilisers and pesticides. As crop diversification could reduce the dependency on external inputs and the production volumes for main crops, these players have no interest in promoting it (Input_1).

Compared to the "Building outside" ideal-type (below), barriers related to farm machinery are presented here more as a question of innovation than as a problem of investment. (Machin_Innov_1; Machin_Invest_0). This may be connected to the size of farms which is in average higher in cases involving conventional farmers (288 ± 618 ha) than in those involving only organic farmers (50 ± 51 ha).

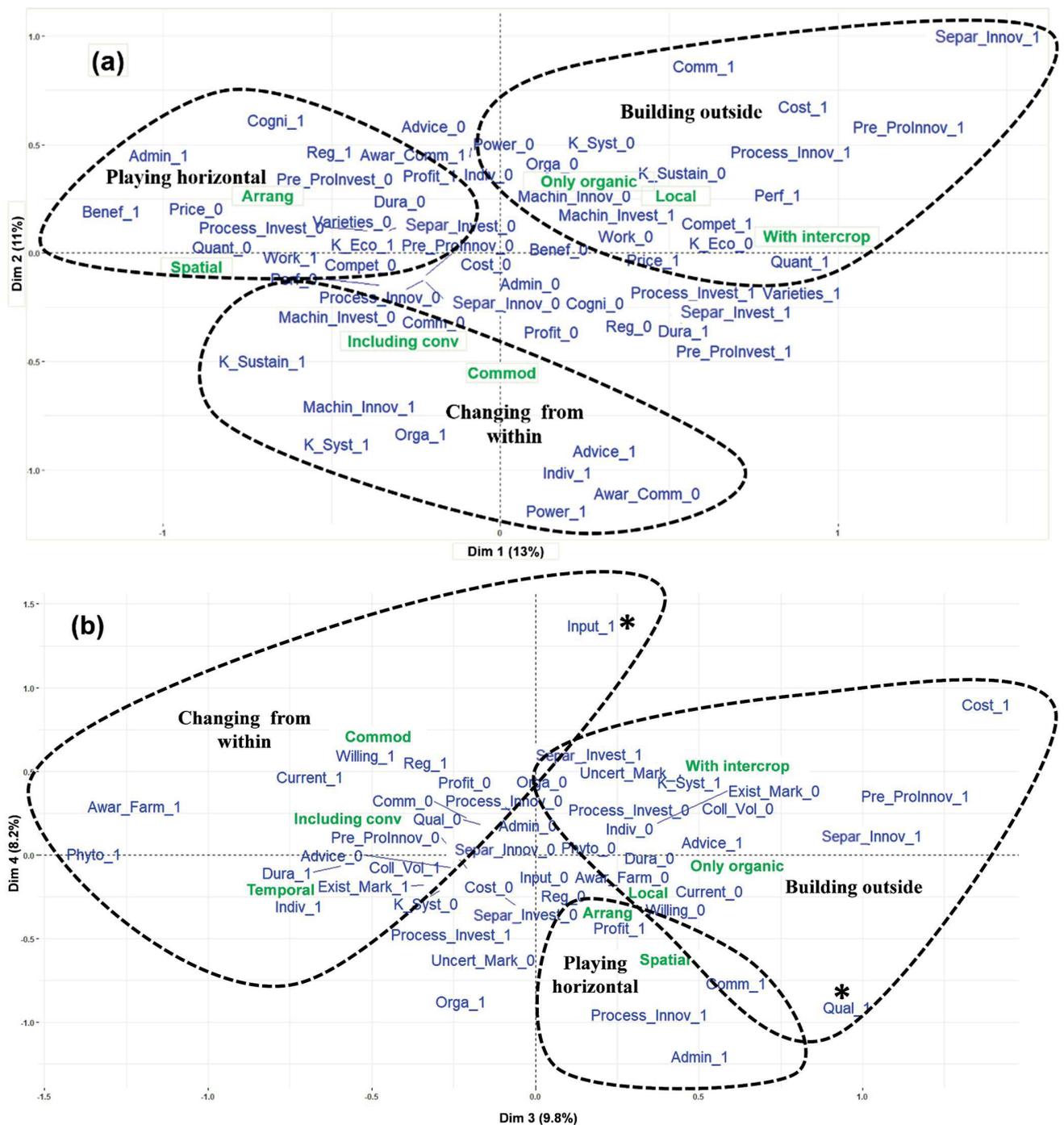


Fig 4. MCA projection of barriers (in blue) and supplementary qualitative variables related to the food system innovation setting (green) on axes 1–2 (a) and 3–4 (b). The codes used for supplementary variables are presented in Table 1 and for barriers in Table 2. For barriers, “1” denotes presence and “0” absence. On each 2-axis projection are presented only the barriers and supplementary variables linked to at least one axis. Barriers and supplementary variables were grouped visually into three ideal-types, as shown on the Figure. Although informed by the MCA, the limits of each group were drawn based on the qualitative analysis of interviews carried out with the different innovation teams. This sometimes led to the integration of barriers that were quite distant from the rest of the group (*). Ideal-types and their corresponding barriers are summarised in Table 2.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910.g004>

For operations after production, the major bottleneck is that mainstream cooperatives or traders working with farmers are generally quite big and highly specialised. This makes them reluctant to collect and store small volumes of new crops that innovative farmers may test or seek to develop (Coll_Vol_1). The bargaining capacity of individual farmers against large-scale downstream operators is limited by the fact that these farmers do not easily cooperate to provide together enough volumes to mitigate collection and management costs (Power_1; Orga_1). Innovation teams mentioned that this lack of coordination could be linked to a lack of trust and/or an individualistic mentality frequently found in a competitive environment (Indiv_1). It also limits the possibility to “put some pressure” on traders to convince them that diversification could be a promising strategy.

Guaranteeing a secure outlet in the future is crucial to encourage farmers to “invest in a new crop”, as already highlighted in literature [54]. Farmers point out that the difficulty to build multi-year contracts can impede the integration of a new crop in the rotation, which requires financial and personal investment (information, energy, time).

The willingness of consumers to pay more for diversification products raises doubt (Willing_1; Exist_Market_1), either because: (i) actors of commodity value chains prefer to focus on large volumes and low prices to “feed the world”; or (ii) they think that consumers looking for healthier or more ecological products will choose organic products and not conventional ones. The necessity to raise consumers’ awareness or to communicate on the potential benefits of conventional crop diversification products is generally not mentioned (Awar_Comm_0).

As innovations are designed within the dominant regime, they are directly bound by the lock-in situation of that regime. Actors at production level seem to have so deeply integrated the constraints and rules of downstream value chains that they barely challenge them. They aim to develop innovations that can be compatible with or adapted to existing mainstream infrastructures and norms, which shows that the highest number of barriers in that ideal-type are related to the production level (Table 2).

3.2.2 Building outside. This ideal-type relates to an innovation setting outside the dominant food systems, corresponding to: (i) integration of intercropping, which is an alternative strategy of crop diversification challenging the existing regime based on single cropping; (ii) developing local markets essentially with small-scale value-chain actors; and (iii) including only organic farmers (Fig 4, Table 2).

A concrete example is the integration on organic farms of very minor crops, pure or intercropped, that are processed into innovative products, e.g. roasted fava bean snacks, lupine cheese or buckwheat pop-corn, by a small-scale food business promoting local food consumption, which contracts directly with farmers for specific volumes of crops and takes in charge the collection, processing and sale of products through online shipping. 13 barriers were linked to that ideal-type.

Contrary to the previous ideal-type, this innovation setting does not seek to fit into the dominant regime but to develop new value chains. The majority of barriers here are thus related primarily to operations after production and the building of these new value chains. The only specific barriers observed at the farm level are the need to invest in farming machinery for specific cropping operations such as weeding new crops, sowing and/or harvesting intercrops (Machin_Invest_1), and the low agronomic performances (especially yields) of minor crops grown in organic conditions (Perf_1). Contrary to innovations involving conventional farmers, the lack of pesticides for managing new crops is not mentioned here (Phyto_0). As noted above, as organic farmers are generally smaller and less equipped than conventional farmers, they need to invest more in such new machines. To increase or stabilise the yields of minor crops cultivated organically, farmers look for technical references (K_Tec_1), just as conventional farmers do (transversal barrier). However, a lack of knowledge about the impacts

of diversification on farm economics, sustainability and the global cropping system is not mentioned specifically as an issue (K_Eco_0; K_Sustain_0; K_Syst_0). Farmers involved in alternative approaches are indeed generally well aware and convinced of the benefits of crop diversification (Awar_farm_0). They are also more familiar with systemic thinking of more complex rotations which is central in organic farming [55]. However, systemic references are still needed on the integration of intercropping in rotations (K_Syst_1).

Farmers innovating outside the regime are generally more willing to collaborate to collectively provide large enough volumes to collectors (Orga_0; Coll_Vol_0), and small-scale operators of local value chains are more used to dealing with small volumes. Interactions between value-chain actors are generally less conflictual, with fewer power imbalances, because most actors are small and share common alternative values (Power_0). In many cases, collection, processing and retailing activities are managed by a small number of intermediaries (short supply chains). However, as the actors are small, marginal, often scattered and not involved in large structured value chains, communication and coordination between them is a challenge (Comm_1).

For such businesses oriented to local niche markets, post-management of crops (especially drying, storing, separation of intercrops, etc.) and processing require investment and innovations, especially for the adaptation of processes to small scales (Separ_Innov_1; Separ_Invest_1; Pre_ProInnov_1; Process_Innov_1). They work with small volumes of products which are generally atypical and more variable in quality than those found in commodity value chains. Altogether, this results in high operating costs (Cost_1). Added to the above-mentioned fact that yields are usually not high, it is very challenging for actors, especially farmers, to make a profit. All the stakeholders underline the necessity of establishing clear contracts in advance, based on fair and transparent prices, and on quantity and quality criteria that cover production and operational costs at all levels of value-chains (Price_1; Quant_1; Qual_1).

Compared to the “Changing from within” ideal-type, actors here doubt less that some consumers would be prepared to pay more for diversification products (Willing_0) if the benefits are clearly indicated with regard to ecology, health, taste or locality. However, although locality is an argument to differentiate products and mitigate costs, competition with non-local crops is still a central issue, even for high-quality or organic products (Compet_1). For example, the development of Swiss organic rapeseed oil is limited by the import of cheaper organic oil produced in countries where production costs are lower (especially manpower), such as Germany or Eastern Europe. So far, the existing literature has underlined competition as a factor limiting diversification of commodity crops, especially in the composition of feed products where the price of substitutable ingredients on the global market is a dominant criterion [16,31]. This work highlights the fact that competition can also be a barrier to diversification of food products in local quality-oriented markets.

3.2.3 Playing horizontal. Similar barriers, spread between farm level and other levels of value chains, were addressed by strategies of: (i) spatial crop diversification; and (ii) arrangements between farmers to support new crops (Fig 4, Table 2). Spatial crop diversification (excluding intercropping) can be considered as a step forward to agroecological farming systems compared to only temporal diversification. It is however designed to fit the dominant regime, either through not requiring specific investment in harvesting, or through the separation of crops by actors used to operating on pure products (strip cropping) or to using crop mixes, either: (i) as such on the farm (winter cover crops to enhance fertility) or (ii) sold as fodder to livestock farmers. Arrangements between farmers for selling crops between each other or land exchanges can also be considered as a step forward to more agroecological systems, as far as collaboration between territorial actors and local cycling of nutrients are concerned [56]. We grouped these two strategies, which can be complementary, into a single ideal-type that we called “Playing horizontal”. We chose that name as actors promote quite radical alternative

strategies, either strictly speaking horizontal at spatial level (crop mixes and strips) or socially horizontal (arrangement between farmers), without directly challenging the vertical organisation of dominant regime value chains. 9 barriers were linked to that ideal-type.

At the production level, farmers in this innovation setting need economic references on diversification practices (K_Eco_1) because they doubt their profitability (Profit_1). For example, an arable farmer needs to be convinced that letting the neighbour's sheep graze his winter cover crops would bring fertility to his plot (reducing fertilisation costs) and that the sheep will totally destroy the winter crops before he sows a new crop in spring, to be sure to save money on that operation. In cases of strip cropping, farmers also wonder about the economic impacts of such practices which are not as well documented as intercropping. Growing strips is supposed to reduce the quick spread of diseases that occurs in homogeneous fields and is facilitated by interactions between crops at the interface of strips [40]. Compared to intercropping, strip cropping is also supposed to reduce investment in machinery, as regular machinery can be used on each strip which is managed as a single crop (Machin_Invest_0). It does not either require crop separation equipment (Separ_Invest_0). The literature is sparse when it comes to the ideal size of strips for each type of crop, and the expected benefits or potential drawbacks and competition between strips. In any case, managing strips or collaborating with livestock farmers requires a shift in the way of thinking about interactions, either at the plot/farm level or between farms (Cogni_1). Such changes raise concerns about labour organisation and mental load (Work_1), e.g. if arable farmers need to host sheep in winter or if strip cropping farmers have to operate on a similar crop on strips which are now scattered.

Regulations and administrative issues are also a strong barrier (Reg_1; Admin_1). Contracting directly between farmers for selling crops is for example highly complex in some countries from a tax perspective, especially for big volumes. It is sometimes required to be supported by an often reluctant intermediary (such as a cooperative) which is officially allowed to collect taxes for the state, whereas farmers would like to interact directly between themselves. The official declaration of strips in dedicated software to obtain public subsidies (CAP) is a brain teaser, because such software usually allows only one crop per field. In the case of land exchange between farmers, questions are raised about who will get the subsidies attached to each plot.

As the selling and processing of crops either fit the dominant regime or are managed at farm scale, post-harvest operations and competition for selling the crops are not mentioned as limiting factors (Pre_ProInnov_0; Pre_ProInvest_0; Compet_0). As farmers deal directly with one another or with their usual trade partners, contracts are not an issue as far as prices, quantities and duration are concerned (Price_0; Quant_0; Dura_0). However, in arrangements between farmers, the lack of communication between them can be an issue, especially to clearly objectify the advantages and compensation expected by each of them (Comm_1). Emphasis is therefore put on the need to draw up fair contracts guaranteeing that both livestock and arable farmers will derive benefits, especially in cases of grazing on winter cover crops and land exchanges (Benef_1). In the case of land exchange, farmers often wonder about fair "exchange ratios" and whether they can prove that one piece of land is better than another one, or if the advantage expected for one farmer is higher than for the other.

As regards the promotion of their crop diversification strategies, farmers underline the difficulties in communicating to consumers (Awar_Comm_1) because their farming practices are quite hard to understand if one has no farming background. It is for example a challenge to explain to consumers why crops grown in strips rather than in field would be more beneficial to the environment. This is why farmers who practice strip cropping prefer to communicate on the positive visual aspects of regular strips on the landscape. Similarly, communicating on land exchange to differentiate products is not easy (how can one explain simply that a type

of flour is better because the wheat was grown on a plot where a livestock farmer had previously grown grass for grazing?).

4 Discussion

4.1 Methodological limits and possible improvements

The building of ideal-types was based on MCA carried out on 25 innovation cases involved in the DiverIMPACTS project, which were not initially selected to build an optimal design of experiments but rather to cover a wide diversity of situations. Although we ensured that every modality of supplementary variables presented at least five occurrences, not all possible combinations of variables were present in balanced proportions. The less frequent barriers occurred only three times across the 25 cases. The links between the less frequent barriers (at the bottom for each value chain level in [Table 2](#)) and innovation settings therefore need to be interpreted carefully. Although some well-represented barriers were linked specifically to one ideal-type, we must bear in mind that ideal-types are heuristic constructs simplifying reality, and that barriers were often not exclusively for one given combination of variables describing innovations settings.

The visual “drawing” of ideal-type boundaries and connected barriers on MCA outputs ([Fig 4](#)) was subject to our human interpretation to “make sense” of data (informed by the qualitative analysis of material collected with innovation teams). This exploratory approach could be enhanced by more systematic methods of clustering on a larger dataset. The impact of less frequent barriers on ideal-types could also be tested while comparing MCA outputs integrating only more frequent barriers.

In our analysis, the first four dimensions (axis 1 to 4) of the MCA explain only 42% of total variance. This suggests that although innovation settings play a role in shaping the barriers to crop diversification, other factors should be considered. Studying more cases would allow us to strengthen the robustness of the analysis and also to integrate new variables that we did not integrate because of the small sample. For example, a preliminary online survey carried out in the DiverIMPACTS project (with 129 answers) [[57](#)] showed that the geographic zone could impact challenges and drivers to crop diversification. In our study, conventional farms were in average bigger than organic farms (see 3.2.1). Integrating the size of farms as a separate variable could be relevant as organisational, material and financial sustainability challenges are likely to be connected [[58](#)]. We chose not to integrate the size of farms and the country (11 possibilities) in our analysis because the possible modalities of such variables were not well balanced across the cases.

The type of crops used for diversification can also determine some barriers, as highlighted in the literature [[16](#), [31](#)]. In our sample, we could not integrate crop type as a variable because most cases involved a diversity of crops.

4.2 Farmers’ perspective, agency and innovation dynamics

The analysis of barriers to crop diversification was based on interviews with innovation teams’ leaders and monitors who mostly belonged to farming-related organisations (farmer’s associations, agricultural R&D, extension or advisory services). The ideal-types that we built thus account for the perception of barriers along the value chain from farmers’ and their support services’ perspective, rather than providing an integrated analysis based on the expertise and points of view of actors at different value chain levels, as found in other studies [[14–16,31,36–38](#)]. In the methodological section (Part 2.2) we have already mentioned that the precision in the description of barriers was impacted by the fact that innovation teams were farm-oriented. To ensure a similar level of precision in the characterisation of barriers at all value-chain levels,

which may for example result in creating more detailed categories for barriers after the farm gate, we could hold complementary interviews with other value-chain stakeholders, which may have more expertise on those aspects.

Although this creates a bias, it may inform us about the level of agency, defined as the capacity to take purposeful actions in an attempt to generate change [59, 60], perceived by farmers to act on the food systems. In the “Changing from within” ideal-type, farmers involved in conventional commodity value chains focus their scope of action at the farm level, accepting the rules of downstream actors, or feeling powerless to change them. Conversely, farmers of the “Building outside” ideal-type have decided not to accept those rules and to collaborate with other small-scale businesses to create value chains with new rules. In that sense, their level of agency seems broader. The “Playing horizontal” ideal-type may denote an intermediary level of agency regarding both farming practices and collective action at the territorial scale between farmers, without extending to downstream operations. Interviews with innovation teams were carried out in the starting phase of the DiverIMPACTS programme. In that sense, our work provides a static initial diagnosis of the challenges faced by innovation teams. Innovation and transition are dynamic processes [24, 61–63]. This programme thus aims at gradually nudging actors out of their comfort zone, empowering them and stimulating co-innovation between multiple actors at different value chain levels. Further research should explore the extent to which this first overview of challenges will determine innovative actions undertaken, and how actors’ perception of barriers at different levels of food systems change during the process, enriched by other actors’ points of view or new alliances, modified and informed by action in a logic of reflexive interactive design [64, 65].

The role that researchers can play in innovation dynamics at the value-chain level should also be explored more fully. During the workshops, we (as scientists) provided guidelines to innovation teams to support them in identifying the different barriers they face (S1 Appendix). This framework was based on a preliminary literature review and underlined the necessity to consider multiple dimensions of barriers at all levels of the value chain. It also provided a first list of potential barriers to explore with stakeholders. This framework may have helped to broaden innovation teams’ perspective beyond the aspects they would normally consider in their professional activities (mainly dealing with farm-level issues). On the other hand, it may have determined the ways in which innovation teams interacted with other value-chain actors, and could have limited the exploration of dimensions not previously mentioned in the literature. In this regard, it seems important for scientists to develop reflexivity in exploring acceptable trade-offs between: (i) providing scientific information to accelerate/broaden change processes with a risk of pre-defining innovation pathways too much; and (ii) playing only a role of facilitators that may allow more original development but does not enable value chain actors to benefit from previous scientific knowledge.

4.3 Supporting innovation according to food system settings and patterns of challenges

The main added value of our work is to provide a comparative analysis of barriers to different food system innovation dynamics that have previously been investigated in distinct studies either on: (i) lock-in situations preventing sustainability innovations in dominant food systems [12–16, 31, 35–38, 66]; (ii) impeding factors and success conditions for alternative innovation dynamics (born outside the dominant system) to be developed [1, 9, 22, 24, 26–28]; or (iii) challenges to support crop-livestock integration at the territorial scale, especially for the “Playing horizontal” ideal-type [42, 43, 56]. Most of those studies investigated in detail a limited number of cases in specific countries. Our study did not seek to examine each innovation case

in depth, but rather to systematically investigate a diversity of European innovation settings. It confirms the prevalence of impeding factors to agroecological innovation identified in those three literature streams across a diversity of European contexts.

The comparative dimension of our work across a diversity of food systems allows us to show that diverse innovation settings of agricultural practices and value chains can result in contrasting patterns in the combination of barriers. This diversity of challenges has to be taken into consideration to develop targeted research, innovation and policy actions in relation to the food systems they seek to support. We formulate specific recommendations in that sense (Fig 5) but think that both the characterisation of food system innovation settings (e.g. integrating more detailed variables) and the corresponding adapted action priorities deserve further research. Those specific R&D and policy actions could be articulated with ones targeting barriers that are not linked to one innovation setting in particular and can therefore be considered as more generic. This is the case of barriers outside of ideal-types boundaries (Fig 4), shared across two innovation settings or not specifically linked to any of them (Table 2). For example, such transversal interventions could foster the development of technical references for growing new crops (K_Tec) and the access to seeds and varieties of minor crops adapted to a diversity of local conditions (Varieties, Seeds). They could also support investment in post-harvest and processing facilities (Pre_ProInvest, Process_Invest), and encourage suitable contracts between value-chain actors to share the risks associated with the variability of production, especially during the first years when farmers are experimenting with new practices (Variab).

In this study we have characterised each barrier in a binary way (present or absent). To inform policy planning and innovation strategies, a deeper understanding of barriers seems required, especially of their relative “limiting power” (totally blocking, partially limiting, etc.), and of the possibility/necessity to remove it or to adapt innovations if they are not likely to be solved.

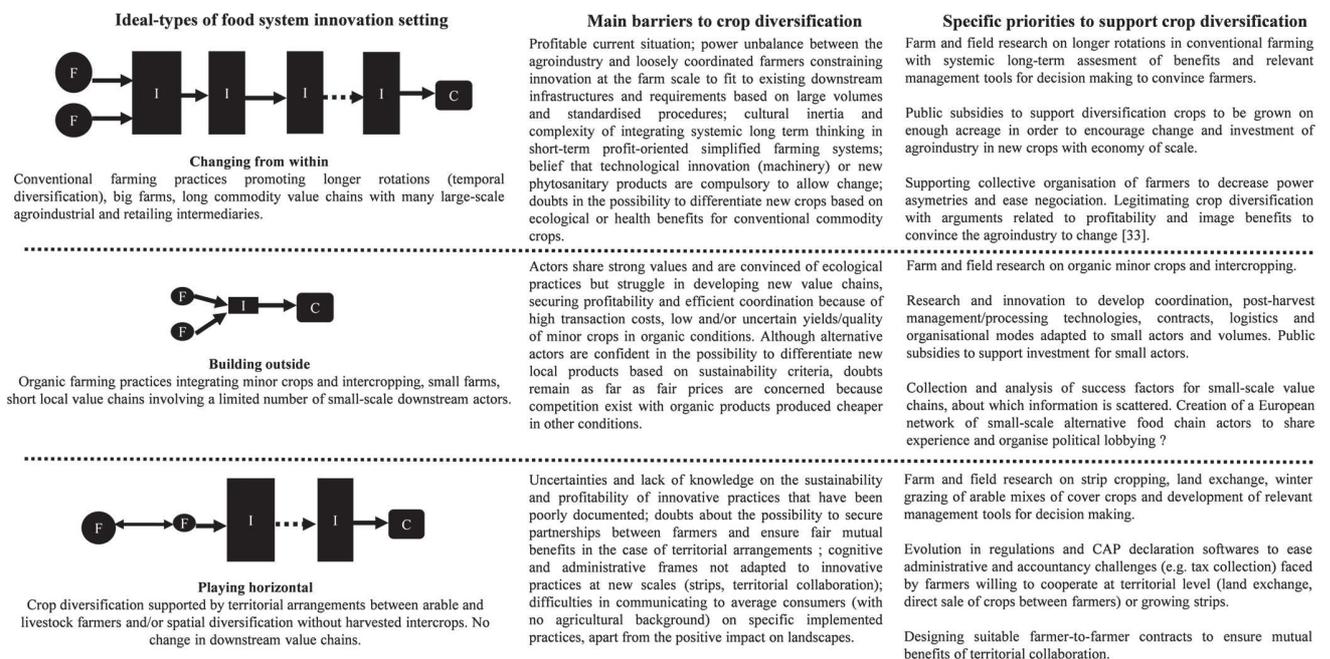


Fig 5. Main barriers and priorities to support crop diversification according to ideal-types of food system innovation setting. “F”: farmer; “I”: intermediary actor of value chain (collector, processor, trader, retailer); “C”: consumer. Arrows represent the flows of products from production to consumption along the value chain. The size of value chain actors is in line with the average size of actors in the different ideal-types, which tended to be smaller in local and organic value chains.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910.g005>

4.4 Analysing hybrid and intermediate food system innovation settings

Our conceptual proposal of food system innovation settings is based on 3 criteria with 3 modalities, which implies 27 combinations. Of the 27 possible combinations, 16 of the 25 case studies (64% of cases) are in 4 of the 27 possible combinations (14.8% of the possible combinations).

This study was based on empirical data collected on the 25 cases of the DiverIMPACTS project which were not initially selected to cover all possible combinations of innovation settings. In those cases, there is a very strong link between local and organic chains, and between conventional farming and commodity value chains. This can be explained by the fact that organic farmers may be more likely to be involved in local value chains. Organic agriculture was developed as an alternative to dominant agriculture, and promoting shorter supply chains has historically been a strong strategy to support the development of that innovation niche [10, 22]. The resulting imbalance in possible combinations of modalities in our sample implies that in our analysis we are not allowed to distinguish the relative contribution of “organic” and “local” in the “Building outside” ideal-type, and of “conventional” and “commodity” in the “Changing from within outside” ideal-type. In that sense, those two food system ideal-types echo the dichotomy of radical *versus* incremental [1, 18, 23], transforming *versus* conforming [25, 67], and alternative *versus* dominant [10, 68, 69] found in literature. The third ideal-type that we develop, “Playing horizontal”, tends to show that “things may be more complicated out there” and that even as a heuristic tool, binary categorisation may be limited when trying to grasp food systems’ complexity.

Recent studies show moreover that hybrid foods systems are developing, e.g. combining for example conventional and local chains [71], or organic and commodity chains [55], as in 3 of our 25 cases (Table 1). Would the development of organic intercropping be facilitated or complicated by the integration in well-structured dominant value chains rather than local ones? Would new crops in conventional rotations face fewer or more problems if they targeted local quality markets instead of export as commodities? To disentangle the specific contribution of agriculture type and value chains in such hybrid settings, and potentially create more complex ideal-types, our methodological approach could be applied to a wider sample of cases that ensures a balanced cover of all possible combinations.

Industrialised countries are witnessing the growth of intermediate food value chains with structured industrial-like organisation but a strong connection to local farmers and farmers’ groups, with constraining traceability, fair share of added value, and ecological practices. The potential of combining the benefits of long and short supply chains in such hybrid food systems is starting to be explored under the umbrella concepts of “agriculture of the middle”, “mid-tier supply chains” or “values-based food supply chains” [70, 71]. To analyse the specific barriers to diversification in such hybrid chains, we could integrate new possible modalities in our approach, such as “intermediate value chains”. Another possible research approach would be to discuss with actors involved in hybrid value chains the similarities and differences in the barriers they face compared to our “pure” ideal-types. Doing so, we may be able to highlight whether: (i) hybrid configurations face cumulated challenges of the “Changing from within” and “Building outside” categories; and (ii) hybrid configurations remove or create more barriers.

5 Conclusion

Based on the analysis of 25 European cases promoting crop diversification, we propose to characterise food system innovation settings as combinations of farming practices, agriculture type, and value chain. In this study we highlight three ideal-types of food system innovation

settings: (i) “Changing from within” where longer rotations are implemented on conventional farms involved in commodity supply chains; (ii) “Building outside” where crop diversification integrates intercropping on organic farms involved in local supply chains and (iii) “Playing horizontal” where actors promote alternative crop diversification strategies, either strictly speaking horizontal at spatial level (e.g. strip cropping) or socially horizontal (arrangement between farmers) without directly challenging the vertical organisation of dominant value chains.

Each ideal-type is linked to a specific pattern of barriers to crop diversification. For example, in the “Changing from within” ideal-type, farmers aim to develop innovations that can be compatible with existing infrastructures and norms of big agro-industry players. This shows that the highest number of barriers are related to the production level, such as developing knowledge and management tools to integrate new crops in historically simplified and short-term profit-oriented production systems. Conversely, the “Building outside” innovation setting is not intended to fit in the dominant regime. The majority of barriers in that case are related more to the building of new value chains and to post-production operations, such as developing adapted technology for the post-harvest management and processing of new crops on a small scale. In the “Playing horizontal” idea-type, post-harvest operations are not mentioned as limiting factors because the selling and processing of crops either aim to fit the dominant regime, or are managed at farm scale. Barriers here are rather related to changes required in cognitive, regulatory and administrative frames to facilitate spatial innovations at new scales (crop strips on the farm, territorial collaboration between farmers).

This work affords a better understanding of the specific barriers that should be considered to develop targeted research, innovation and policy actions for the food systems they seek to promote. It contributes to recent research developments aspiring to better analyse the diversity of food systems, with a view to supporting transition [2, 39].

Supporting information

S1 Appendix. Guidelines and structured framework to support innovation teams in identifying barriers to crop diversification in the DiverIMPACTS project.

(DOCX)

S1 Fig. Percentage of inertia explained by the different dimensions of MCA for barriers to crop diversification. Cumulated, dimensions 1 to 4 explain 42% of variance.

(TIF)

S2 Fig. MCA ellipse plots of barriers to crop diversification and supplementary variables on dimensions 1 and 2. Ellipses around the different modalities of each variable indicate significant difference with a confidence of 95%. Codes for barriers are presented in [S1 Table](#) and for supplementary variables in [Table 1](#).

(TIF)

S3 Fig. MCA ellipse plots of barriers to crop diversification and supplementary variables on dimensions 3 and 4. For legend, see [S2 Fig](#).

(TIF)

S1 Table. V-test of coordinates of supplementary variables on dimensions 1 to 4 in the MCA of barriers to crop diversification.

(DOCX)

Acknowledgments

We are grateful to all the partners of DiverIMPACTS who have inspired us, and to the innovation teams that enthusiastically took part in the research. We especially thank Walter Rossing, Pieter de Wolf, Jorieke Potters, Daniel de Jong (Wageningen University and Research) who organised the co-innovation workshops where our interactions with the innovation teams took place, and the project leader Antoine Messéan (INRA), for his support and advice. We thank the academic editor and the three reviewers for their complementary constructive feedback on our paper.

Author Contributions

Conceptualization: Kevin Morel, Eva Revoyron.

Data curation: Kevin Morel.

Formal analysis: Kevin Morel, Eva Revoyron, Magali San Cristobal.

Funding acquisition: Philippe V. Baret.

Investigation: Kevin Morel, Eva Revoyron.

Methodology: Eva Revoyron, Magali San Cristobal.

Project administration: Philippe V. Baret.

Software: Magali San Cristobal.

Supervision: Philippe V. Baret.

Writing – original draft: Kevin Morel.

Writing – review & editing: Kevin Morel, Eva Revoyron, Magali San Cristobal, Philippe V. Baret.

References

1. Duru M, Therond O, Fares M. Designing agroecological transitions: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015; 35(4):1237–1257.
2. Gaitán-Cremaschi D, Klerkx L, Duncan J, Trienekens JH, Huenchuleo C, Dogliotti S, et al. Characterizing diversity of food systems in view of sustainability transitions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2019; 39(1):1. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0550-2> PMID: 30881486
3. Holt-Giménez E, Altieri MA. Agroecology, food Sovereignty, and the new green revolution. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2013; 37(1):90–102.
4. Hubeau M, Marchand F, Coteur I, Mondelaers K, Debruyne L, Van Huylenbroeck G. A new agri-food systems sustainability approach to identify shared transformation pathways towards sustainability. *Ecological Economics*. 2017; 131(C):52–63.
5. Hernandez XE. Agroecosistemas de Mexico—Contribución a la enseñanza, la investigación y la divulgación agrícola. Chapingo, Mexico. Ed. Colegio de Postgrados Chapingo; 1977.
6. Altieri MA. Agroecology: a new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. nov 1989; 27(1–4):37–46.
7. Gliessman SR. *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*. USA: CRC Press; 1998. 394 p.
8. Francis C, Lieblein G, Gliessman S, Breland TA, Creamer N, Harwood R, et al. Agroecology: the ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*. 2003; 22(3):99–118.
9. Lamine C. Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM. *Journal of Rural Studies*. 1 avr 2011; 27(2):209–19.
10. Fernandez M, Goodall K, Olson M, Méndez VE. Agroecology and alternative agri-food movements in the United States: toward a sustainable agri-Food system. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 1 janv 2013; 37(1):115–26.

11. Timmermans AJM, Ambuko J, Belik W, Huang J. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. CFS Committee on World Food Security HLPE; 2014.
12. Cowan R, Gunby P. Sprayed to Death: path dependence, lock-in and pest control strategies. *The Economic Journal*. 1996; 106(436):521–42.
13. Wilson C, Tisdell C. Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological economics*. 2001; 39(3):449–462.
14. Vanloqueren G, Baret PV. Why are ecological, low-input, multi-resistant wheat cultivars slow to develop commercially? A Belgian agricultural 'lock-in' case study. *Ecological Economics*. 15 juin 2008; 66(2):436–46.
15. Fares M, Magrini M-B, Triboulet P. Transition agroécologique, innovation et effets de verrouillage: le rôle de la structure organisationnelle des filières. *Cahiers Agricultures*. 1 janv 2012; 21(1):34–45 (1).
16. Meynard J-M, Charrier F, Fares M, Le Bail M, Magrini M-B, Charlier A, et al. Socio-technical lock-in hinders crop diversification in France. *Agron Sustain Dev*. 2 oct 2018; 38(5):54.
17. Rip A, Kemp R. Technological change. Human choice and climate change. 1998; 2(2):327–399.
18. Schot J. The usefulness of evolutionary models for explaining innovation. The case of the Netherlands in the nineteenth century. *History and Technology, an International Journal*. 1998; 14(3):173–200.
19. Geels FW. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*. 1 déc 2002; 31(8):1257–74.
20. David PA. Clio and the Economics of QWERTY. *The American economic review*. 1985; 75(2):332–337.
21. Arthur WB. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The economic journal*. 1989; 99(394):116–131.
22. Smith A. Green niches in sustainable development: the case of organic food in the United Kingdom. *Environment and Planning C: Government and Policy*. 2006; 24(3):439–458.
23. Ingram J. Framing niche-regime linkage as adaptation: an analysis of learning and innovation networks for sustainable agriculture across Europe. *Journal of Rural Studies*. 2015; 40:59–75.
24. Elzen B, Barbier M, Cerf M, Grin J. Stimulating transitions towards sustainable farming systems. In: *Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic*. Springer; 2012. p. 431–455.
25. Levidow L, Pimbert M, Vanloqueren G. Agroecological research: Conforming—or transforming the dominant agro-food regime? *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2014; 38(10):1127–1155.
26. Cohen N, Ilieva RT. Transitioning the food system: a strategic practice management approach for cities. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2015; 17:199–217.
27. Darnhofer I, Sutherland LA, Pinto-Correia T. Conceptual insights derived from case studies on 'emerging transitions' in farming. CABI, Wallingford; 2015.
28. Bui S, Cardona A, Lamine C, Cerf M. Sustainability transitions: insights on processes of niche-regime interaction and regime reconfiguration in agri-food systems. *Journal of Rural Studies*. 1 déc 2016; 48(Supplement C):92–103.
29. Meynard JM, Messéan A, Charlier A, Charrier F, Farès M, Le Bail M, et al. Crop Diversification: obstacles and levers, study of farms and supply chains. Synopsis of the study report, INRA. 2013.
30. Meynard J-M, Jeuffroy M-H, Le Bail M, Lefèvre A, Magrini M-B, Michon C. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems*. 1 oct 2017; 157(Supplement C):330–9.
31. Magrini M-B, Anton M, Cholez C, Corre-Hellou G, Duc G, Jeuffroy M-H, et al. Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecological Economics*. 1 juin 2016; 126(Supplement C):152–62.
32. Poux X, Aubert P-M. An agroecological Europe in 2050: multifunctional agriculture for healthy eating. Findings from the Ten Years For Agroecology (TYFA) modelling exercise, Iddri-AScA, Study N°09/18, Paris, France, 2018.
33. Plumecocq G, Debril T, Duru M, Magrini M-B, Sarthou JP, Therond O. The plurality of values in sustainable agriculture models: diverse lock-in and coevolution patterns. *Ecology and Society [Internet]*. 9 févr 2018 [cité 25 avr 2019]; 23(1).
34. Palomo-Campesino S, González J, García-Llorente M. Exploring the connections between agroecological practices and ecosystem services: a systematic literature review. *Sustainability*. 2018; 10(12):4339.
35. Lithourgidis AS, Dordas CA, Damalas CA, Vlachostergios D. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian journal of crop science*. 2011; 5(4):396.
36. Voisin A-S, Guéguen J, Huyghe C, Jeuffroy M-H, Magrini M-B, Meynard J-M, et al. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agron Sustain Dev*. 1 avr 2014; 34(2):361–80.

37. Zimmer S, Liebe U, Didier J-P, Heß J. Luxembourgish farmers' lack of information about grain legume cultivation. *Agron Sustain Dev*. 15 déc 2015; 36(1):2.
38. Zander P, Amjath-Babu TS, Preissel S, Reckling M, Bues A, Schläfke N, et al. Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agronomy for sustainable development*. 2016; 36(2):26.
39. Therond O, Duru M, Roger-Estrade J, Richard G. A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. *Agron Sustain Dev*. 6 juin 2017; 37(3):21.
40. Francis C, Jones A, Crookston K, Wittler K, Goodman S. Strip cropping corn and grain legumes: a review. *American Journal of Alternative Agriculture*. 1986; 1(4):159–164.
41. Agnew J. Intercropping after harvest: separation and storage. Presentation of Canadian applied research organisation PAMI.; 2018.
42. Martin G, Moraine M, Ryschawy J, Magne M-A, Asai M, Sarthou J-P, et al. Crop–livestock integration beyond the farm level: a review. *Agron Sustain Dev*. 9 sept 2016; 36(3):53.
43. Moraine M, Grimaldi J, Murgue C, Duru M, Therond O. Co-design and assessment of cropping systems for developing crop–livestock integration at the territory level. *Agricultural Systems*. 2016; 147:87–97.
44. AUSAID. Ausguidelines: the logical framework approach. Australia: Australian Agency for International Development; 2005 p. 41.
45. Van Mierlo BC, Regeer B, van Amstel M, Arkesteijn MCM, Beekman V, Bunders JFG, et al. Reflexive monitoring in action. A guide for monitoring system innovation projects. *Communication and Innovation Studies*, WUR; Athena Institute, VU; 2010.
46. Miles MB, Huberman AM. *Qualitative Data Analysis: A Sourcebook of new methods*. Beverly Hills: SAGE Publications Inc; 1984. 256 p.
47. Elo S, Kyngäs H. The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*. 1 avr 2008; 62(1):107–15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x> PMID: 18352969
48. Eisenhardt KM. Building theories from case study research. *Academy of management review*. 1989; 14(4):532–550.
49. Yin RK. *Case study research: design and methods*. Los Angeles, United States, United Kingdom, India; 2009.
50. Lê S, Josse J, Husson F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of statistical software*. 2008; 25(1):1–18.
51. Husson F, Josse J, Le S, Mazet J. FactoMineR: multivariate exploratory data analysis and data mining with R. R package version. 2013; 1(5).
52. Kassambara A, Mundt F. Package 'factoextra'. Extract and visualize the results of multivariate data analyses. 2017;76.
53. Dantier B. Les "idéaltypes" de Max Weber, leurs constructions et usages dans la recherche sociologique. *Les catégories de la sociologie T 1 de Max Weber, Économie et société*. 2004;28–29.
54. Fares M. Renegotiation design and contract Solutions to the hold-up problem. *Journal of Economic Surveys*. 2006; 20(5):731–756.
55. Darnhofer I, Lindenthal T, Bartel-Kratochvil R, Zollitsch W. Conventionalisation of organic farming practices: from structural criteria towards an assessment based on organic principles. A review. *Agron Sustain Dev*. 1 mars 2010; 30(1):67–81.
56. Ryschawy J, Martin G, Moraine M, Duru M, Therond O. Designing crop–livestock integration at different levels: toward new agroecological models? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2017; 108(1):5–20.
57. Drexler D, Vanwindekens F, Stilmant D, Messéan A. Success and failure factors of crop diversification across Europe [Internet]. Dynamic developments in organic research. Strengthening partnerships across Europe and beyond. 6th International Conference on Organic Agriculture Sciences (ICOAS); 2018; Eisenstadt, Austria. http://icoas2018.org/wp-content/uploads/2018/11/1_2_Drexler_Meszáros.pdf
58. Woodhouse P. Beyond industrial agriculture? Some questions about farm size, productivity and sustainability. *Journal of agrarian change*. 2010; 10(3):437–453.
59. Fischer L-B, Newig J. Importance of actors and agency in sustainability transitions: a systematic exploration of the literature. *Sustainability*. 2016; 8(5):476.
60. De Herde V, Maréchal K, Baret PV. Lock-ins and agency: towards an embedded approach of individual pathways in the Walloon dairy sector. *Sustainability*. 2019; 11(16):4405.
61. Geels FW, Schot J. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*. 1 avr 2007; 36(3):399–417.
62. Grin J, Rotmans J, Schot J. *Transitions to sustainable development: new directions in the study of long term transformative change*. Routledge; 2010. 418 p.

63. Klerkx L, Aarts N, Leeuwis C. Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. *Agricultural systems*. 2010; 103(6):390–400.
64. Schön DA. *The reflective practitioner: how professionals think in action* [Internet]. Vol. 5126. Basic books; 1983.
65. Bos AP, Grin J. Reflexive interactive design as an instrument for dual track governance. *System innovations, knowledge regimes, and design practices towards transitions for sustainable agriculture*. Paris: INRA-SAD. 2012;
66. Louah L, Visser M, Blaimont A, de Cannière C. Barriers to the development of temperate agroforestry as an example of agroecological innovation: mainly a matter of cognitive lock-in? *Land Use Policy*. 1 sept 2017; 67:86–97.
67. Smith A, Raven R. What is protective space? Reconsidering niches in transitions to sustainability. *Research policy*. 2012; 41(6):1025–1036.
68. Beus CE, Dunlap RE. Conventional versus alternative agriculture: the paradigmatic roots of the debate*. *Rural Sociology*. 1 déc 1990; 55(4):590–616.
69. Rosset PM, Altieri MA. Agroecology versus input substitution: a fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources*. 1997; 10(3):283–95.
70. Brives H, Chazoule C, Fleury P, Vandembroucke P. “Agriculture of the Middle” as a new understanding of Rhône-Alpes agriculture? *Économie rurale*. 2017; 357-358(1):41–56.
71. Fleury P, Lev L, Brives H, Chazoule C, Désolé M. Developing mid-tier supply chains (France) and values-based food supply chains (USA): a comparison of motivations, achievements, barriers and limitations. *Agriculture*. 2016; 6(3):36.

2 GUIDES D'ENTRETIEN

2.1 Guide d'entretien auprès des agriculteurs pour l'analyse des trajectoires de diversification et de leurs déterminants (chapitre 1) et pour l'analyse des systèmes d'approvisionnement des cultures de diversification (chapitre 2)

Présenter rapidement :

- Qui je suis et mon travail de recherche
- Les objectifs et la structure de l'entretien
- Demander l'accord pour enregistrer et utiliser anonymement les données.
- Engagements : quels retours de mon travail à l'agriculteur ?

Données générales sur l'exploitation agricole :

- SAU ?
- Qui travaille sur l'exploitation ? (nombre de personnes, d'UTH – dont familial, organisation)
- Productions actuelles ?
- Part moyenne des cultures de vente dans le chiffre d'affaires ?

Aperçu des **systèmes de culture actuels** :

- Liste des cultures en place ou prévues pour la campagne en cours ? Reconstituer l'assolement complet, y compris surfaces fourragères et intercultures ;
- Sur quelles parcelles / quels types de sols ? Quelles successions de culture ?
- Pour quels débouchés (internes / externes à l'EA) ?
- Autres cultures possibles, occasionnelles ? Des cultures qui ont été abandonnées ?

A partir de ces éléments, on va s'intéresser plus en détails aux **cultures de diversification** présentes sur l'exploitation, c'est-à-dire aux cultures autres que [à adapter selon les cultures principales du territoire].

L'objectif est de faire raconter à l'agriculteur la mise en place de ces cultures, depuis la décision de les insérer ou de diversifier, jusqu'à aujourd'hui.

Questions possibles pour lancer la discussion :

- Depuis quand ces cultures sont-elles cultivées ?
- Quelles étaient les principales cultures et productions à cette période ?
- Quels objectifs ou problèmes ont conduit à changer ?
- Pourquoi et comment cette solution ou cette idée s'est présentée ?
- Qu'est-ce qui a été fait, concrètement, l'année où cette culture a été introduite ?

- Qu'est-ce que cela a changé dans le fonctionnement de l'exploitation agricole ?
- Qu'est-ce qui a facilité, ou au contraire posé problème, pour la mise en place de ces changements ?
- Qu'est-ce qui a été poursuivi, modifié, arrêté ? Pourquoi ?

Au fur et à mesure de la discussion, faire expliciter à l'agriculteur l'enchaînement des changements, les difficultés rencontrées, et les ressources qui ont été mobilisées (pour surmonter ces difficultés).

⇒ Voir la grille de questions ci-dessous pour des questions qui permettent de relancer la discussion ou d'obtenir davantage de précisions sur le processus de diversification.

Grille de questions :

Pour les différentes étapes du processus de diversification, et les différentes cultures de diversification :

Assolement et successions de cultures

En s'appuyant sur une carte ou sur une représentation du parcellaire de l'exploitation :

- Quel était l'**assolement global** (y compris surfaces fourragères et intercultures) ?
- Sur quelles parcelles la culture a-t-elle été positionnée (type et profondeur de sols ? hydromorphie ? drainage ou irrigation ?) ? avec quelles conséquences ?
- Dans quelles **successions de cultures** s'insérait la culture ?
- Quelle(s) culture(s) a-t-elle remplacé ?

Dimension décisionnelle du processus

- Phase d'alerte :
 - Qu'est-ce qui vous a donné l'idée de faire... ? quand en avez-vous entendu parler pour la première fois ?
 - Pourquoi (pour répondre à quels objectifs, quels problèmes...) avez-vous décidé de changer ?
 - Comment avez-vous décidé de la culture et des techniques à mettre en place ? Quelles autres cultures auraient pu être envisagées ?
 - Quelles connaissances aviez-vous sur cette culture avant de la mettre en place ?
- Evaluation des changements mis en place :
 - Quels critères de satisfaction ?
 - Quels indicateurs mobilisés pour suivre et adapter les nouvelles pratiques ? pour vérifier que les critères de satisfaction étaient atteints ?

- Niveau de satisfaction atteint : quels résultats ? quelles difficultés rencontrées ?
- Est-ce que les critères de satisfaction, les objectifs, ont évolué ? pourquoi ?
- Conséquences sur les changements mis en place : qu'est-ce qui est conservé, qu'est-ce qui est modifié, pourquoi ?

Rôle des connaissances et apprentissages

- Informations et références nécessaires :
 - Qu'avez-vous cherché à savoir avant d'essayer ?
 - Comment avez-vous fait pour avoir ces réponses ? est-ce que vous avez discuté avec des conseillers, des agriculteurs ? lu la presse agricole, des forums internet ? fait des essais ?
 - Quelles connaissances ou savoir-faire ont pu être transférés depuis d'autres cultures ?
 - Quelles ont été les difficultés rencontrées, et comment ont-elles été résolues ? avec qui ?
 - Aujourd'hui, qu'est-ce que vous avez appris sur cette culture ? si vous deviez la conduire seul... ?

Demander, s'ils existent, à voir les supports écrits des conseils délivrés (y compris enregistrements de pratiques si pertinents pour la diversification).

- Apports d'échanges entre pairs :
 - Quels types d'échange ? discussions informelles ? groupes d'agriculteurs type groupes de développement ? échanges en ligne ? ...
 - Qu'ont-ils apporté ?
- Apports de dispositifs de conseil :
 - Quels organismes et conseillers ont été sollicités ?
 - Conseil individuel ou de groupe ?
 - Conseil stratégique ou technique ?
 - Quelle période, quels contextes ? (avant ou pendant la campagne ? tours de plaine ? visites d'essais ? interventions d'experts ? échanges en groupe ? supports utilisés ?)
 - Qu'ont-ils apporté ?
- Apports de sources d'information autres : presse agricole...
- Expérimentations mises en place
 - Quels étaient les objectifs de l'expérimentation ? Lien avec des essais précédents ?
 - Quelle échelle spatiale ?
 - Quelle(s) modalité(s) ?
 - Quelles informations / observations ont été collectées au cours de l'essai ? (sur la mise en place, sur la culture, sur l'agroécosystème, sur le travail...)

- Est-ce que les objectifs ont été atteints ? Quels ont été les résultats ? Comment l'agriculteur les a-t-il interprétés ? Quelles conséquences sur le processus de diversification ?

Rôle des modes de commercialisation
--

- Destination de la culture ?
 - Qui sont les acheteurs / premiers metteurs en marché ? Localisation ?
- Contractualisation ?
 - Quels types de contrats et de prix ?
 - Rendements et prix de vente attendus ?
 - Quelles exigences et cahiers des charges (variétés, conduites techniques, qualité) ?
- Quelles modalités de suivi et contrôle en cours de campagne culturale ?
- Quelles modalités de récolte, collecte, stockage ?
 - Opérations post-récolte sur l'exploitation (stockage, transformation) ?
- Quelles modalités de coordination avec l'aval ?

Rôle des ressources productives
--

- Foncier
 - L'introduction de la culture a-t-elle été permise par une augmentation des surfaces ? (sinon, quelles cultures a-t-elle remplacé, sur quelles parcelles ?)
 - Y a-t-il des contraintes de choix des parcelles associées à cette culture (posées par l'agriculteur ou par l'aval) ? permet-elle au contraire de valoriser davantage certains terrains ?
 - Quel délai de retour de la culture ? est-ce que cela pose problème ou risque de poser problème à moyen-long terme ?
 - Les choix d'assolement de la culture ont-ils évolué depuis son introduction ?
- Matériels et équipements
 - Y a-t-il eu besoin d'investir dans du nouveau matériel ou d'adapter du matériel existant ? d'investir dans d'autres équipements (stockage, transformation...) ?
 - Si oui, comment les investissements ont-ils été rendus possibles ? Quelles connaissances et compétences nouvelles ont été nécessaires ?
 - S'agit-il de matériel en propre ? partagé (CUMA...) ? matériel d'une entreprise ou d'un prestataire externe ?
- Travail et main d'œuvre
 - L'introduction de la culture a-t-elle modifié la main d'œuvre totale (embauche, appel à des travailleurs saisonniers ou partagés ? ou au contraire diminution de l'activité) ? A-t-elle été permise ou provoquée par un changement dans la main d'œuvre (installation, embauche, départ d'un exploitant ou d'un salarié...) ?

- Comment les activités de chacun ont-elles été modifiées par cette nouvelle culture ? Y a-t-il eu des concurrences avec d'autres activités, sur l'exploitation ou hors de l'exploitation ?
 - A quels moments sont réalisées les interventions sur cette culture ? est-ce que cela entre en concurrence avec les autres chantiers ou ateliers ? quelle souplesse y a-t-il pour décaler ces interventions ?
 - Qui est responsable des prises de décision sur cette culture (déclenchement des interventions...) ? Qui d'autre est impliqué dans la conduite de la culture (jusqu'à la commercialisation) ?
 - Quel suivi de la culture ? Quelles activités d'observation ? Les acheteurs imposent-ils un suivi et un contrôle en cours de campagne culturale ?
 - Quelles compétences nouvelles ont été nécessaires ? Formations nécessaires ?
- Intrants (dont semences)
 - Quelles variétés ont été utilisées ? Pourquoi ?
 - Autres intrants ?
 - Où ont-ils été achetés ? Difficultés d'accès ? Si oui, comment ont-elles été résolues ?
 - Economiques
 - Quelles étaient les attentes économiques vis-à-vis de la culture ?
 - Quel niveau de satisfaction de ces attentes ? Comment l'agriculteur a-t-il évalué cela ? Quelles conséquences ?
 - La culture a-t-elle donné lieu à des subventions ?
 - La culture a-t-elle permis d'accéder à des MAE ou à d'autres aides ?

2.2 Guide d'entretien auprès des acteurs des filières responsables de la collecte des cultures de diversification

Objectifs de l'entretien : Retracer le développement des cultures de diversification dans la collecte de l'opérateur, en lien avec leur stratégie et avec leur gestion des infrastructures, des contrats, et de la récolte.

Caractéristiques de l'organisme et du service

L'organisme :

- Taille : Staff, nombre de producteurs (adhérents / non adhérents si coop), types de producteurs, surfaces concernées (par type de produit)
- Organigramme : identifier les différents services, leurs missions, les relations entre services... ainsi que les « filiales » (négoce, ...)
- Quels sont les partenaires de l'organisme ?
- Répartition de la collecte (productions végétales) par type de produit et par type de commercialisation ?
- Orientations stratégiques récentes et à venir (débouchés, qualité,...) ?
- Qui prend les décisions concernant les orientations et les investissements pour la gestion de l'organisme ?

Le service / pôle (si pertinent) :

- Quelles sont les missions du service / pôle ? Quels domaines d'intervention ? Sur quels domaines le service n'intervient pas ? Place dans l'organigramme ?
- Comment est organisé le service ? Relations avec les autres services ?
- Quelle est la fonction occupée par la personne enquêtée ? Son parcours professionnel ?

Historique relatif à la diversification des cultures

- Quel est l'historique de l'organisme ?
- Quelles sont les cultures collectées actuellement ? Identifier les cultures de diversification collectées et, éventuellement, la catégorisation qui en est faite par la structure.
- Comment ont évolué, pour ces cultures, les surfaces, le % des surfaces de collecte totale, les volumes, le nombre d'agriculteurs, la localisation des cultures ?
- Ces cultures sont-elles en phase de démarrage ou de test ? en phase d'installation ? en phase de stabilisation ? en « rythme de croisière » ?
- Les nouvelles cultures sont-elles venues en addition de la collecte existante ou en substitution d'une ou plusieurs cultures ? S'il y a substitution, à la place de quelle(s) culture(s) ? S'il y a addition, avec quels investissements ?

- Identifier les interdépendances entre cultures. Est-ce que certaines cultures sont plus ou moins encouragées par la structure auprès des agriculteurs ?
- Quelles sont les caractéristiques des agriculteurs qui ont choisi d'insérer des cultures de diversification ? Comment ces agriculteurs sont-ils sélectionnés, si c'est le cas ?
- Y a-t-il une compétition avec d'autres acteurs de l'aval pour certaines cultures de diversification ? Si oui, avec quelles conséquences ?

⇒ *Identifier les grandes « étapes » du développement des cultures de diversification pour la structure.*

Pour chaque étape :

- Quels / qui sont les éléments déclencheurs de ces évolutions ?
- Faire le lien entre les évolutions de surfaces / volumes / nombre d'agriculteurs et :
 - o Les infrastructures
 - o Les contrats et systèmes de rémunération
 - o La gestion de la récolte
- Dans les phases d' « amorce » d'une nouvelle culture : comment ces trois éléments sont-ils gérés dans un contexte où les marchés, les prix et les volumes ne sont pas stabilisés ?
- Comment sont évalués les changements mis en place par les opérateurs ?
- Quel impact ont ces évolutions sur les agriculteurs ?

Situation actuelle vis-à-vis de la diversification des cultures

Pour chaque culture ou gamme de cultures pertinente :

- **Infrastructures :**
 - o Quelle(s) zone(s) géographique(s) de collecte ? Pourquoi ?
 - o Quels sont les silos qui accueillent cette/ces cultures ? Pourquoi ? Où sont-ils localisés (distance moyenne aux EA ?) ? Sont-ils dédiés à cette/ces cultures toute l'année ou disponibles seulement à certaines périodes ? Quelle est leur capacité de stockage et d'isolement ?
 - o Est-ce que certains agriculteurs stockent la culture ? Lesquels (zone ?) ? Sont-ils incités à le faire ?
 - o Y a-t-il une segmentation de la culture en différents lots ?
 - o Ces infrastructures vous semblent-elles adaptées ? Qu'est-ce qui pourrait être amélioré selon vous ?
- **Contrats et systèmes de rémunération :**
 - o Quels sont les contrats proposés aux producteurs pour cette culture ?
 - o Comment la rémunération se fait-elle ?

- Est-il possible d'avoir un exemplaire type d'un contrat ou les éléments clés ?
- Comment sont gérés les surfaces et volumes ? Lien avec les besoins de l'opérateur et des acheteurs ? Avec le système de prix proposés aux agriculteurs ?
- Quels sont les intérêts de ce système de contrats et de rémunération ? Quelles sont les contraintes actuelles que vous rencontrez ?

- **Gestion de la récolte :**

- La culture est-elle prioritaire ou secondaire par rapport à d'autres cultures dans la gestion des apports à la récolte ? Comment est planifié le calendrier des apports ?
- Les parcelles sont-elles classées ? En fonction de quelles caractéristiques ?
- Comment sont suivis et contrôlés les apports (notamment contrôle de la qualité en relation avec le système de rémunération) ? Y a-t-il des contraintes et contrôles externes ?
- Comment estimez-vous la quantité à stocker ? Quels sont les critères/informations utilisés ? Quelle fiabilité ?
- Comment estimez-vous la quantité stockée à la ferme ? Quels impacts pour votre gestion ?
- Y a-t-il une grande variabilité des rendements et de la qualité entre les années ? au sein du territoire pour une même année ? Pourquoi ?
- Comment sont organisées les opérations post-réception en fonction (i) du type de lot et (ii) du type de produit fini envisagé (séchage, triage, isolement, transfert,...) ?
- Quels sont les intérêts de ce système de collecte et stockage ? Quels sont les problèmes ou difficultés rencontrés ?

2.3 Guide d'entretien auprès des acteurs du conseil sur leurs pratiques d'accompagnement des agriculteurs qui diversifient

Objectifs de l'entretien : L'objectif est d'analyser l'interaction, au sein de l'organisme enquêté et de son environnement sociotechnique, entre les dispositifs de **production de connaissances**, les dispositifs de **partage de connaissances et d'accompagnement**, et le **contenu agronomique** du conseil, afin de répondre aux questions suivantes :

- Comment différents dispositifs d'accompagnement et de production de connaissances, et leurs interactions, facilitent-ils pour les agriculteurs le développement des connaissances et compétences nécessaires au cours du processus de diversification ?
- Sur quoi portent les connaissances et les compétences développées pour accompagner les agriculteurs vers la diversification ?
- Quelle est la nature des innovations en jeu dans les pratiques de production de connaissances et d'accompagnement des acteurs du secteur agricole ?

Interroger tout au long de l'entretien la variabilité des pratiques de conseil... :

- Entre cultures (en fonction des grands types de filières ou de stratégies, des familles de cultures, de la disponibilité de références...)
- Entre systèmes de culture (avec plus ou moins de cultures fourragères par exemple)
- Entre agriculteurs (en fonction de leurs compétences, leur localisation, leur engagement dans la diversification...)
- Entre zones du territoire (notamment pédoclimatiques)
- Et les interactions entre ces 3 paramètres

... Et leur évolution au cours du temps :

Est-ce que ça a toujours fonctionné comme ça ? Quelles différences par rapport à il y a 10 ans ? Il y a 5 ans ?

Replacer la question du conseil, des connaissances et des références dans l'organisme

Présenter ce que j'ai compris de la structure, son fonctionnement et la place que le conseil y occupe.

- Quelles sont les missions de l'opérateur/de son service et sa place dans la structure ? Quels sont leurs liens à la production de connaissances, la transmission de connaissances, l'utilisation de connaissances ? Comment interagissent-ils avec d'autres services ou avec des partenaires extérieurs sur ces questions ?
- A quelles questions cruciales le service a-t-il été amené à répondre ces dernières années (i.e. quel est le rôle stratégique du service dans la structure) ? Essayer d'identifier à la fois les actions (ex. accompagner, conseiller, former) et les thématiques (ex. intrants, variétés, qualité, travail du sol, cultures nouvelles) concernées
- Qui sont les décisionnaires des orientations prises par le service ?

- Quelles sont les principales évolutions du métier par rapport à ce qu'il était il y a 5, 10 ans ? Cela génère-t-il des difficultés pour les personnes qui l'exercent ? Quelles différences entre les missions actuelles et celles d'il y a 5 ans ? 10 ans ? Quels objectifs ou quelles contraintes ont conduit à ces évolutions ?
- Aujourd'hui, comment la structure évalue-t-elle globalement la performance des exploitations agricoles sur le territoire ? Quels sont les enjeux ?

Sans aller dans le détail du contenu du conseil... :

Activités de back-office :

- Quels sont les dispositifs mis en place pour élaborer le conseil aux agriculteurs ? Quels sont les services impliqués ? Quelles sont les sources d'information principales ? Comment ces informations sont-elles transformées en référence ? L'organisme travaille-t-il avec des partenaires pour élaborer le conseil, et comment ?
- Quels étaient les grands sujets techniques sur lesquels vous construisiez des références en vue du conseil aux agriculteurs : il y a 10-15 ans ; il y a 5 ans ; aujourd'hui ? qu'est ce qui est vraiment nouveau ? Comme on ne peut pas tout faire ... qu'est ce qui a été abandonné ou réduit ? Suite à quels objectifs ou contraintes ?

Activités de front-office :

- En quoi consiste le service de conseil aux agriculteurs ? Sous quelle forme est-il rendu en général ? Y a-t-il plusieurs niveaux de service, et si oui de quoi dépendent-ils (contrats, types d'agriculteurs...) ? L'organisme travaille-t-il avec des partenaires pour délivrer le conseil aux agriculteurs, et comment ?
- Quelles ont été les évolutions de ces services de conseil depuis 10 ans ? Suite à quels objectifs ou contraintes ? Plus généralement (i.e. au-delà de l'entreprise elle-même) quelle est votre perception de l'évolution du conseil aux agriculteurs ces dernières années ? Vous semble-t-il que les messages sont homogènes, quel bilan de ces évolutions faites-vous pour l'agriculteur ?

Positionnement de la diversification dans la stratégie de la structure

Présenter s'il y a lieu les différentes catégories de cultures/filières/stratégies de diversification que j'ai identifiées comme étant structurantes pour l'organisme, pour lancer la discussion.

- Quelle définition l'opérateur et l'organisme donnent-ils de la diversification des cultures ?
- Quelles raisons justifient ou justifieraient que l'on en fasse un sujet de conseil ? Faire le lien avec les thèmes évoqués dans l'évolution du back/front office dans l'institution : quels rapports selon vous entretiennent-ils avec les questions de diversification ?
- Est-ce que / comment c'est intégré dans leur stratégie, orientations, réflexions en termes d'élaboration du conseil et d'accompagnement des agriculteurs ?

- Au niveau du territoire, quelle diversification des cultures y a-t-il selon eux ? Qui sont les agriculteurs qui diversifient ? Est-ce que certains agriculteurs sont « pionniers » pour la diversification ? Est-ce que certains agriculteurs sont « inaccessibles » pour le conseil ?

Quelles connaissances sont étudiées, référencées, partagées sur la diversification, et avec quel impact ?

*Détailler (a) les dispositifs **d'élaboration du conseil**, (b) **d'accompagnement des agriculteurs**, et (c) le **contenu agronomique** du conseil pour les différentes catégories de cultures de diversification identifiées (point 2.), ou au moins pour 2-3 situations contrastées.*

La séparation en 3 catégories est artificielle, mais l'objectif est d'aborder ces 3 aspects du conseil. S'appuyer si possible sur des documents internes, des guides techniques actuels ou passés produits par l'organisme.

Elaboration du conseil :

- Quels sont les dispositifs mis en place pour étudier, référencer ? « Jusqu'où » va la structure en termes de production de connaissances ? Quelles sont les sources d'information principales ? Comment ces informations sont-elles transformées en références adaptées aux agriculteurs et aux conditions de l'agriculture locale ? L'organisme travaille-t-il avec des partenaires pour élaborer le conseil, et comment ? (intégration des connaissances « expertes » vs. connaissances des agriculteurs ?)

Accompagnement des agriculteurs :

- En quoi consiste le service de conseil aux agriculteurs ? Sous quelle forme est-il rendu ? Y a-t-il plusieurs niveaux de service ? L'organisme travaille-t-il avec des partenaires pour délivrer le conseil aux agriculteurs, et comment ?
- Quels outils / méthodes sont mobilisés pour accompagner les agriculteurs ?
- Comment la prise de risque des agriculteurs qui diversifient est-elle accompagnée ?

Détailler les types de contenu et les formats de contenu :

- ⇒ Ecrits : témoignages ? processus agronomiques illustrés en pratique ? gammes d'options techniques ? logiques d'action génériques ? règles de décision ?
- ⇒ Oraux (accompagnement individuel, animation de groupes, formations...) : quels outils / méthodes utilisés ?

Contenu agronomique du conseil :

- De quelle nature sont les connaissances sur lesquelles la structure travaille en lien avec la diversification ? Est-ce que la diversification des cultures/ les cultures de diversification sont abordées en lien avec certaines thématiques en particulier (par ex. santé des plantes, sol, ...)

- Comment évaluez-vous la performance d'une culture de diversification / d'une diversification des cultures ? Quels critères et indicateurs ?
- Si la structure décide de développer – ou au moins d'étudier – une nouvelle culture (par intérêt commercial et/ou par une demande des agriculteurs), comment est-ce que vous vous y prenez ?
- Si des agriculteurs produisent des cultures nouvelles / inattendues / inconnues ?

- Quelles demandes, questions remontent de la part des agriculteurs ?
- Comment les retours des agriculteurs sont-ils pris en compte ? Est-ce que la structure s'appuie sur certains agriculteurs en particulier, et pourquoi ?
- Comment l'expérience des agriculteurs est-elle collectée, remobilisée dans le conseil, validée si besoin ?
- Quels sont les problèmes le plus souvent rencontrés par les agriculteurs qui diversifient ? Comment sont-ils traités ? Est-ce que certaines questions restent « orphelines » ?

- Y a-t-il des demandes d'agriculteurs d'être accompagnés à diversifier (en lien avec la PAC par exemple) ? Comment répondent-ils à ces demandes (à plus court terme, parmi la gamme de cultures déjà existantes) ?
- Face à quels problèmes ou objectifs des agriculteurs les conseillers sont-ils susceptibles de proposer la diversification ?
- En fonction de quels critères et indicateurs proposez-vous telle ou telle culture, avec quelle hiérarchisation de ces critères et indicateurs ?

Ces 10 dernières années, comment ont évolué l'élaboration, la diffusion et le contenu du conseil sur la diversification des cultures ? Quel impact cela a-t-il eu sur les processus de diversification dans les EA, sur le territoire ?

Questions transversales

Points-clés à aborder en fin d'entretien s'ils ne l'ont pas été auparavant :

- Comment est fait le lien entre le conseil aux agriculteurs et les attentes de l'aval (marchés, qualité...) ?
- Est-ce que les cultures nouvelles peuvent aller jusqu'à créer des tensions sur les surfaces ou les volumes des cultures traditionnelles ?

2.4 Guide d'entretien auprès des agriculteurs pour l'analyse des processus d'apprentissage associés à la diversification des cultures

Repérage des cultures de diversification

Principaux changements sur l'EA ? Récents et à venir.

Les nouvelles cultures introduites depuis l'installation ?

Y a-t-il des **contraintes récurrentes** sur l'EA ? La diversification est-elle une manière d'y répondre ?

Cultures récemment mises en place ?

- Cultures abandonnées et/ou réduction de surface suite ?
- Suite à des **problèmes de production** ? lesquels ?
- Où s'insère la culture de diversification ?

On choisit une ou deux introductions de cultures à l'aide de quelques questions :

- Avez-vous déjà implanté une nouvelle culture avec l'objectif clair de diversifier ?
- Quelle nouvelle culture vous a demandé le plus d'adaptation ? de réflexion ?
- Diversification récente

Détail du processus de diversification mis en place

Phase de mise en alerte :

Comment avez-vous **entendu parler** de cette culture ? par qui ? Quand ?

- Pourquoi une nouvelle culture (*motivations*)
- Pourquoi vous semblait-elle intéressante pour vous ? **adapté à votre EA** ?
- Ça répondait à des problèmes particuliers de l'EA ?

Qu'est-ce que vous avez cherché à savoir avant d'essayer ?

- Quelles **références** ?
- Après de qui ? conseil ? pairs ? réseaux ?
- Presse : quelles revues, fiches techniques (*demander précisément => lien analyse biblio*)
- Sources non classiques (internet, ...) : quelles infos recherchées ?

Avez-vous trouvé tout ce qu'il vous fallait ? Y a-t-il des **informations manquantes** qui vous aurait aidées ?

Pourquoi une source est **bonne / fiable** pour vous ? réputation, indicateurs, méthodologie...

Une nouvelle culture ce n'est pas rien, grâce à quelles informations étiez-vous **confiant** dans la réussite du changement ?

Phases expérimentation + évaluation :

Retracer l'évolution du processus : années, succession des actions, évolution des surfaces, des techniques, des débouchés => pas seulement la période de diversification mais comment elle fait sens dans la trajectoire globale de l'EA

- ⇒ Dessiner une frise chronologique rapide avec l'agri., support de la suite des discussions

Qu'est-ce que vous avez eu **besoin** de tester au début ?

(Quelles modalités => raisonnements agronomiques, liens entre connaissances et milieu)

- Quelles étaient les **incertitudes** ?
- Quels étaient les **facteurs d'échec ou de réussite** envisagés ?
- Quelles données vouliez-vous **collecter** ?
- **Notes ? photos ? carnets ?** (*demander à les voir si possible*)

Evolutions d'articulations des connaissances, apprentissage en action :

- Aviez-vous des **attentes** précises dès le début ? Ont-elles évolué ?
- Les **objectifs** de cette diversification ? Au début, à la fin ? (*évolution du regard*)
- Y a-t-il eu des objectifs intermédiaires ?
- Prise en compte de **paramètres nouveaux** en cours de processus ?
- **Comparaisons** avec d'autres informations : voisins, presse, internet, références techniques (*modification des connaissances*)
- **Discussion** des résultats avec d'autre agri. ? conseillers ? groupes de développement ? en ligne ?

S'il y a eu des changements de pratiques, pourquoi ?

- Ont-ils été anticipés, opportunistes ?
- Quels changements/adaptations avez-vous imaginé mais non mis en œuvre ? Pourquoi ?
- A la suite d'un ou plusieurs essais, avez-vous recherché de **nouvelles informations** ? Par quels canaux ?

Quels éléments au sein de l'EA qui ont été **impactés** ?

- Autres cultures ? MO ?
- Alors que vous n'y aviez pas pensé ?
- Conséquences sur l'ensemble du système
- A l'inverse, quels sont les éléments qui ne doivent pas être impactés ?

Pourquoi et comment avez-vous **jugé** que le résultat était satisfaisant / ou non ?

- Quels indicateurs ?

Qu'est-ce qui est **déterminant** pour la réussite et la pérennité de cette culture sur l'EA ?

Hiérarchiser ?

- Aujourd'hui, quels sont les facteurs d'échec, de réussite (*de la culture elle-même mais surtout de sa place dans le système*)

Beaucoup d'apprentissages se font par des **échecs**, avez-vous eu des ratés qui vous ont appris des choses ?

Sans revenir sur toutes les cultures, est-ce que vous avez essayé de faire la **même démarche** sur celle-ci ?

Commercialisation et ressources productives

Commercialisation de la culture :

Insertion dans des **filières** « structurées » :

- Localisation ?
- Sous **contrats** ? quel type de contrat ?
- Rendements, qualité et prix de ventes attendus ? par l'agri et par l'acheteur ?
- Comment sont fixés les prix, la quantité, qualité demandée ?
- Quelles exigences du **CdC** (variété, conduite technique, dates d'intervention, ...)

Propre activité de commercialisation :

- Nouveau pour cette culture ou déjà présent sur l'EA ?
- Type de commercialisation (sur la ferme, via des négociés, groupe d'agri., magasins locaux, ...)
- Planification de la quantité à produire ?
- Rendements, qualité et prix de ventes attendus ? par l'agri et par l'acheteur ?
- Quelles **conséquences** sur le processus de diversification ? d'expérimentation ?

Ressources productives :

Main d'œuvre, gestion du temps de travail :

- L'introduction de la culture a-t-elle modifié la **MO totale** ?
- A-t-elle été **permise ou provoqué** par un changement de MO
- Par qui sont réalisés les travaux de la culture de diversification ? (*MO de la ferme ? ETA ?*)
- Des **compétences** nouvelles ont-elles été nécessaires ? Formation ?
- La diversification joue-t-elle sur la répartition du temps de travail ? (*pics, concurrences en tâches, répartition de la charge de travail*)

Matériel et équipements :

- Besoin de nouveau matériel ? Adaptation du matériel disponible ?
- **Investissements** ? Si oui, en propre ? en CUMA ?
- Prestation externe ? ETA ?

Foncier :

- L'introduction de la culture a-t-elle été permise par une **augmentation des surfaces** ? (sinon, quelles cultures a-t-elle remplacé, sur quelles parcelles ?)
- Y a-t-il des **contraintes de choix** des parcelles associées à cette culture (posées par l'agriculteur ou par l'aval) ? permet-elle au contraire de valoriser davantage certains terrains ?
- Quel délai de retour de la culture ? est-ce que cela pose problème ou risque de poser problème à moyen-long terme ?
- Les choix d'assolement de la culture ont-ils évolué depuis son introduction ?

S'il reste du temps : Si un autre agri., un voisin, veut implanter la même culture chez lui, qu'est-ce que vous lui conseillerez ?

3 SUPPLEMENTARY MATERIAL ASSOCIE AU CHAPITRE 1

3.1 S.1.

Eigenvalues and percentage of explained variance of the first dimensions of the principal component analysis (PCA) on the crop diversification pathway characterization variables. The hierarchical classification was performed on the first two dimensions, which explain 67% of the variance.

Dimension	eigenvalue	% of variance explained	Cumulative % of variance
Dim.1	8.77	51.6	51.6
Dim.2	2.63	15.5	67.1
Dim.3	1.84	10.8	77.9
Dim.4	0.96	5.7	83.5
Dim.5	0.82	4.8	88.4

3.2 S.2.

Correlation coefficient and P-value of the variables significantly correlated with dimensions 1 and 2 of the principal component analysis (PCA) on the crop diversification pathway characterization variables. The variables for which *P < 0.05 appear.

DCC = diversification cash crop. CDR index = crop diversity in rotation index. Ann. = Average annual change. Rel. = Relative change. Area = cash-crop oriented area. *P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001.

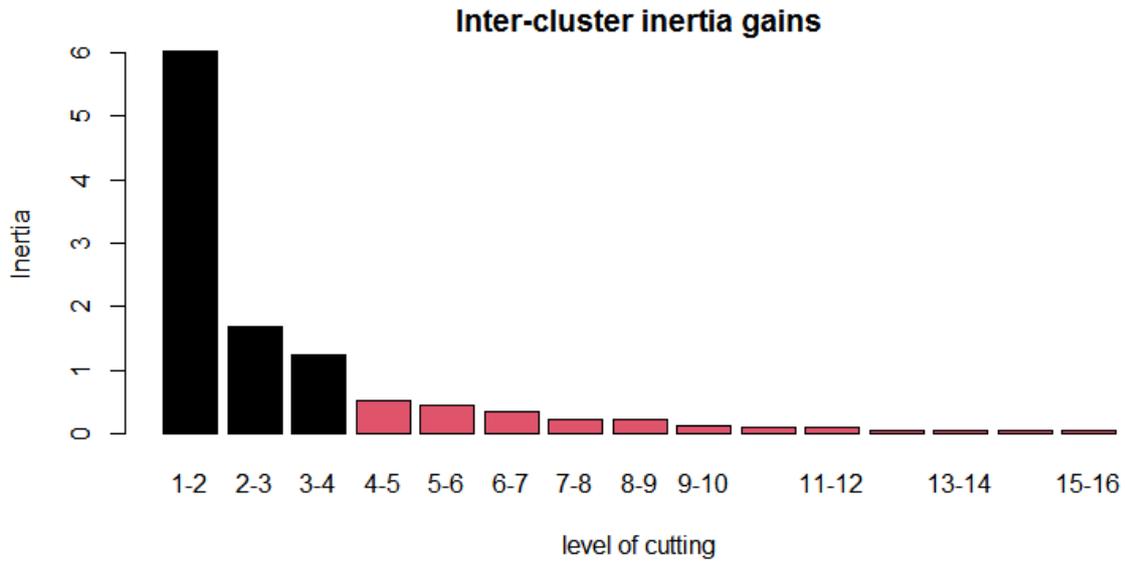
Dimension 1	correlation	p.value	
Number of DCCs (ann.)	0.91	2.11e-13	***
Number of crops (ann.)	0.88	1.99e-11	***
Shannon index (ann.)	0.87	8.30e-11	***
Number of crops tested (ann.)	0.83	3.41e-09	***
CDR index (ann.)	0.79	6.01e-08	***
Share of DCCs in the number of crops (ann.)	0.75	5.40e-07	***
Share of DCCs in the area (ann.)	0.74	6.79e-07	***
Share of DCCs in the area (rel.)	0.74	9.13e-07	***
Number of DCCs (rel.)	0.73	1.18e-06	***
CDR index (rel.)	0.67	2.02e-05	***
Number of crops (rel.)	0.64	5.16e-05	***
Share of DCCs in the number of crops (rel.)	0.63	9.87e-05	***
Shannon index (rel.)	0.56	6.15e-04	***
Backtracking (ann.)	0.55	8.51e-04	***
Share of main crops in the area (rel.)	-0.49	3.57e-03	**

Share of main crops in the area (ann.)	-0.85	3.35e-10	***
<hr/>			
Dimension 2	correlation	p.value	
Shannon Index (rel.)	0.62	0.00014	***
Pathway Duration	0.58	0.00041	***
Number of crops (rel.)	0.57	0.00054	***
Number of DCCs (rel.)	0.54	0.0012	**
Continuation rate	0.47	0.0053	**
Share of DCCs in the number of crops (rel.)	0.39	0.026	*
CDR index (rel.)	0.38	0.030	*
Share of DCCs in the area (rel.)	0.35	0.047	*
Number of crops tested (ann.)	-0.46	0.0077	**
Backtracking (ann.)	-0.57	0.00056	***
Region	0.19 (R2)	0.041	*

Dimension 1 is positively correlated with the variables for changes in crop diversity (***P <0.001) and negatively correlated with the variables for changes in the share of main crops (**P <0.01). It is also positively correlated with the variable "Backtracking" (***P <0.001). Dimension 2 is positively correlated with the variables of relative evolution of diversity (current value/initial value) and with the "Continuation rate" variable (*P <0.05). It is negatively correlated with the variables "Backtracking" and "Crops tested" (**P <0.01).

3.3 S.3.

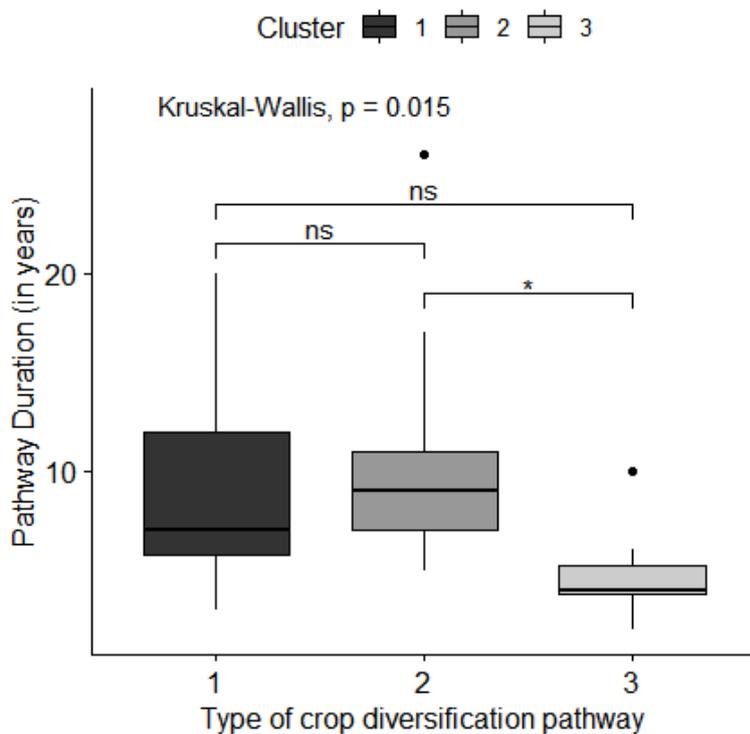
Inertia graph: Absolute loss of inertia associated with each partition (number of clusters) of the crop diversification pathways variables. The number of clusters (4) was chosen to maximize the relative loss of inertia ($i(\text{clusters } n+1)/i(\text{cluster } n)$).



3.4 S.4

Duration of the pathways in each type of crop diversification pathway. Using the Kruskal-Wallis test, we show that there is a significant difference between pathways duration among the types ($P < 0.05$). Using Dunn's test (P-value adjustment method: Bonferroni), we show that the difference concerns types 2 and 3. The median pathway duration is 7 years for type 1, 9 years for type 2, and 4 years for type 3.

ns = not significant. * $P < 0.05$



4 LISTE DES SYSTEMES D'APPROVISIONNEMENT IDENTIFIES DANS LES TROIS TERRITOIRES D'ETUDE

Territoire	Code opérateur	Type de système d'approvisionnement	Culture
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Colza
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Féverole
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Lin oléagineux
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Lupin
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Orge
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Pois protéagineux
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Tournesol
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Triticale
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Chanvre
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Colza
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Colza
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Graminées fourragères
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Haricot
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Légumes
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Lentille
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Lin oléagineux
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Lin oléagineux
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Luzerne
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Oeillette
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Orge
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Orge
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Pois chiche
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Pomme de terre
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Soja
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Tournesol
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Tournesol
Vendée	01-OCS-Ve	Coordonné par l'aval	Trèfle
Vendée	02-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Colza
Vendée	02-OCS-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Féverole
Vendée	02-OCS-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Lin oléagineux
Vendée	02-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Lupin
Vendée	02-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Orge
Vendée	02-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Sarrasin
Vendée	02-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Soja
Vendée	02-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Sorgho
Vendée	02-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Tournesol
Vendée	03-IAA-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Poireau

ANNEXES

Vendée	03-IAA-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Pomme de terre
Vendée	04-FAA-Ve	Coordonné par l'aval	Triticale
Vendée	05-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Féverole
Vendée	06-OCS-Ve	Coordonné par le marché	Soja
Vendée	07-FAA-Ve	Coordonné par le marché	Avoine
Vendée	08-Sem-Ve	Coordonné par l'aval	Carotte
Vendée	08-Sem-Ve	Coordonné par l'aval	Chou
Vendée	08-Sem-Ve	Coordonné par l'aval	Pois potager
Vendée	09-FAA-Ve	Coordonné par l'aval	Lin oléagineux
Vendée	10-IAA-Ve	Coordonné par l'aval	Sarrasin
Vendée	11-Sem-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Triticale
Vendée	12-Sem-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Lentille
Vendée	12-Sem-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Luzerne
Vendée	12-Sem-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Orge
Vendée	12-Sem-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Pois
Vendée	12-Sem-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Sarrasin
Vendée	12-Sem-Ve	Co-construit agriculteurs aval	Trèfle
Vendée	13-EA-Ve	Coordonné entre agriculteurs	Sarrasin
Vendée	14-EA-Ve	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Haricot
Vendée	15-EA-Ve	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Haricot
Vendée	15-EA-Ve	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Lentille
Vendée	15-EA-Ve	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Pois chiche
Vendée	16-EA-Ve	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Epeautre
Vendée	16-EA-Ve	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Millet
Vendée	16-EA-Ve	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Sarrasin
Marches	17-FAA-Ma	Coordonné par l'aval	Blé tendre
Marches	17-FAA-Ma	Coordonné par l'aval	Féverole
Marches	17-FAA-Ma	Coordonné par l'aval	Pois protéagineux
Marches	17-FAA-Ma	Coordonné par l'aval	Sorgho
Marches	18-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Blé tendre
Marches	18-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Epeautre
Marches	18-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Féverole
Marches	18-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Haricot
Marches	18-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Lentille
Marches	18-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Maïs
Marches	18-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Orge
Marches	18-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Pois chiche
Marches	18-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Pois protéagineux
Marches	18-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Tournesol
Marches	19-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Avoine
Marches	19-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Haricot
Marches	19-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Lentille
Marches	19-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Millet

Marches	19-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Orge
Marches	19-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Pois chiche
Marches	19-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Sarrasin
Marches	19-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Sésame
Marches	20-IAA-Ma	Coordonné par l'aval	Epeautre
Marches	21-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Carthame
Marches	21-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Chanvre
Marches	21-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Chia
Marches	21-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Courge
Marches	21-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Lin
Marches	21-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Sésame
Marches	21-IAA-Ma	Co-construit agriculteurs aval	Tournesol
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Blé tendre
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Epeautre
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Féverole
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Lentille
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Lin
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Luzerne
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Pois chiche
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Pois protéagineux
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Sorgho
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Tournesol
Marches	22-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Trèfle
Marches	23-IAA-Ma	Coordonné par l'aval	Brocoli
Marches	23-IAA-Ma	Coordonné par l'aval	Chicorée
Marches	23-IAA-Ma	Coordonné par l'aval	Epinard
Marches	23-IAA-Ma	Coordonné par l'aval	Haricot vert
Marches	23-IAA-Ma	Coordonné par l'aval	Pois potager
Marches	24-Sem-Ma	Coordonné par l'aval	Coriandre
Marches	24-Sem-Ma	Coordonné par l'aval	Moutarde
Marches	25-FAA-Ma	Coordonné par l'aval	Luzerne
Marches	26-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Pois chiche
Marches	27-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Pois chiche
Marches	28-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Blé tendre
Marches	28-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Millet
Marches	29-OCS-Ma	Coordonné par l'aval	Pois chiche
Marches	31-IAA-Ma	Coordonné par l'aval	Betterave sucrière
Marches	32-IAA-Ma	Coordonné par l'aval	Pois chiche
Marches	33-Sem-Ma	Coordonné par l'aval	Féverole
Marches	33-Sem-Ma	Coordonné par l'aval	Pois protéagineux
Marches	33-Sem-Ma	Coordonné par l'aval	Trèfle
Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Chanvre
Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Epeautre

Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Gesse
Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Haricot
Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Lentille
Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Lin
Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Maïs
Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Millet
Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Pois chiche
Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Quinoa
Marches	35-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Sarrasin
Marches	36-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Blé tendre
Marches	36-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Epeautre
Marches	36-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Gesse
Marches	36-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Gesse
Marches	36-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Haricot
Marches	36-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Lentille
Marches	36-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Maïs
Marches	36-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Pois chiche
Marches	36-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Sarrasin
Marches	37-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Blé tendre
Marches	37-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Epeautre
Marches	37-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Pois chiche
Marches	38-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Lentille
Marches	38-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Pois chiche
Marches	39-EA-Ma	Coordonné entre agriculteurs	Luzerne
Marches	40-EA-Ma	Coordonné entre agriculteurs	Luzerne
Marches	41-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Blé tendre
Marches	41-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Epeautre
Marches	41-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Féverole
Marches	41-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Gesse
Marches	41-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Lentille
Marches	41-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Maïs
Marches	41-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Pois chiche
Marches	42-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Blé dur
Marches	42-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Blé tendre
Marches	42-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Féverole
Marches	42-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Pois chiche
Marches	42-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Pois potager
Marches	43-EA-Ma	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Blé tendre
Scanie	44-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Amaranthe
Scanie	44-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Cameline
Scanie	44-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Chanvre
Scanie	44-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Chia
Scanie	44-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Féverole

Scanie	44-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Lentille
Scanie	44-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Lupin
Scanie	44-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Pois potager
Scanie	44-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Quinoa
Scanie	44-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Tournesol
Scanie	45-OCS-Sc	Coordonné par le marché	Avoine
Scanie	45-OCS-Sc	Coordonné par le marché	Féverole
Scanie	45-OCS-Sc	Coordonné par le marché	Pois protéagineux
Scanie	45-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Avoine
Scanie	45-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Betterave sucrière
Scanie	45-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Fétuque
Scanie	45-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Féverole
Scanie	45-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Pois
Scanie	45-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Ray-grass
Scanie	45-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Trèfle
Scanie	46-IAA-Sc	Coordonné par l'aval	Betterave rouge
Scanie	46-IAA-Sc	Coordonné par l'aval	Concombre
Scanie	46-IAA-Sc	Coordonné par l'aval	Pomme de terre
Scanie	47-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Pomme de terre
Scanie	48-IAA-Sc	Coordonné par l'aval	Carotte
Scanie	49-OCS-Sc	Coordonné par le marché	Féverole
Scanie	49-OCS-Sc	Coordonné par le marché	Seigle
Scanie	49-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Graminées fourragères
Scanie	50-IAA-Sc	Coordonné par l'aval	Pomme de terre
Scanie	51-IAA-Sc	Coordonné par l'aval	Pois potager
Scanie	52-IAA-Sc	Coordonné par l'aval	Betterave sucrière
Scanie	53-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Oignon
Scanie	54-IAA-Sc	Coordonné par l'aval	Pomme de terre
Scanie	55-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Betterave rouge
Scanie	55-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Céleri
Scanie	56-OCS-Sc	Coordonné par l'aval	Laitue, chou...
Scanie	57-IAA-Sc	Coordonné par l'aval	Pois potager
Scanie	58-OCS-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Avoine
Scanie	58-OCS-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Féverole
Scanie	59-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Avoine
Scanie	60-IAA-Sc	Co-construit agriculteurs aval	Chanvre
Scanie	61-Sem-Sc	Coordonné par l'aval	Epinard
Scanie	62-Sem-Sc	Coordonné par l'aval	Fétuque
Scanie	62-Sem-Sc	Coordonné par l'aval	Trèfle
Scanie	63-EA-Sc	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Ail
Scanie	64-EA-Sc	Coordonné entre agriculteurs	Féverole
Scanie	65-EA-Sc	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Amidonnier
Scanie	65-EA-Sc	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Blé tendre

ANNEXES

Scanie	65-EA-Sc	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Carvi
Scanie	65-EA-Sc	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Epeautre
Scanie	65-EA-Sc	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Lentille
Scanie	65-EA-Sc	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Moutarde
Scanie	65-EA-Sc	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Orge
Scanie	65-EA-Sc	Circuit court coordonné par les agriculteurs	Seigle

5 DELIVERABLE 5.3: MAIN DRIVERS FOR FARMERS' CHOICES RELATED TO CROP DIVERSIFICATION

DiverIMPACTS

Diversification through Rotation, Intercropping, Multiple cropping, Promoted with Actors and value-Chains Towards Sustainability

Deliverable 5.3

Main drivers for farmers' choices related to crop diversification

Planned delivery date (as in DoA): Month M35, May 2020

Actual submission date: 31/05/2021, month M48

Work package: WP5

Work package leader: Philippe Baret UCLouvain

Deliverable leader: Eva Revoyron (INRAE)

Author: Eva Revoyron (INRAE)

Version: 1.0

This deliverable is part of a project that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 727482.	
Dissemination Level	
PU Public	N/A
CI Classified, as referred to Commission Decision 2001/844/EC	
CO Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	

Research and Innovation action: GA no. 727482

Start date of the project: June 1st, 2017

Contents

- Executive summary 4
- 1. Introduction..... 5
- 2. Material and method..... 6
 - 2.1 Crop diversification..... 6
 - 2.2 Study areas 7
 - 2.3 Sample selection..... 7
 - 2.4 Conduct of the interviews..... 8
 - 2.5 Data processing and analysis 8
 - 2.5.1 Preliminary definitions 8
 - 2.5.2 Variables to be explained 9
 - 2.5.3 Statistical classification of trajectories 10
 - 2.5.4 Explanatory variables..... 10
 - 2.5.4.1 Qualitative variables..... 10
 - 2.5.4.2 Structural variables..... 11
- 3. Results: Variety in crop diversification trajectories in Europe and their determinants 11
 - 3.1 Evolution of crop diversity in the sample 11
 - 3.1.1 Initial and current degrees of diversity..... 11
 - 3.1.2 Description of crop diversification in each territory..... 12
 - 3.1.2.1 Vendée (15 trajectories) 14
 - 3.1.2.2 Scania (8 trajectories)..... 16
 - 3.1.2.3 The Marches (10 trajectories) 17
 - 3.2 Classifications of diversification trajectories..... 18
 - 3.2.1 Classification based on initial diversity variables..... 18
 - 3.2.2 Classification based on current diversity variables 19
 - 3.3 Typology of crop diversification trajectories..... 22
 - 3.3.1 Type 1: Low or slow diversification 22
 - 3.3.2 Type 2: Increase in the surface area devoted to diversified cash crops 25
 - 3.3.3 Type 3: Strong increase in the number of crops..... 29
 - 3.4 Overview of farmers' motivations and expectations regarding crop diversification of a sub-sample of 7 trajectories in Vendée 34
- 4. Conclusions 35
- 5. Partners involved in the work 38

6. Annexes 38
6.1 References 38
6.2 Interview guidelines 40

Executive summary

In a context of simplification and specialization of cropping systems in Europe, more knowledge is needed on the reasons why some farmers decide to implement crop diversification, and on the trajectories they follow to do so, in order to better identify levers to support these processes.

This deliverable presents the results of interviews carried out with 33 farms who diversified their crops in the past 5 to 25 years in 3 regions of Europe. We used a set of variables to describe these farms' evolutions in crop diversity over time, that we call crop diversification trajectories. An inductive approach of farmers' motivations and of the resources they mobilize to implement crop diversification was then used to understand the determinants of these trajectories.

We show that farmers who diversify their crops across these regions, although their pathways of change are very diverse, follow 3 main types of crop diversification trajectories. Moreover, there is a strong coherence between the motivations for the crop diversification process and the resources mobilized by farmers to diversify, that explain the shape of these different types of trajectories.

The first type of trajectories corresponds to farms with a low or slow increase in crop diversity over time. Farmers in this type are mainly driven by economic motivations which are not necessarily stable, and lack more stable motivations such as those around agronomic benefits of crop diversification.

The second type of trajectories corresponds to farms with a progressive increase in crop diversity. Not many new crops are introduced but they represent a significant share of the crop area. These trajectories are stabilized by the agronomic motivations behind farmers' processes of change in practices, and by the support and resources provided by the downstream actors buying these crops.

The third type of trajectories is the one that leads to the highest level of diversity, with more frequent changes and a higher number of crops tested by farmers. As well as agronomic motivations to diversify, this type of trajectory is driven by the farmers' willingness to look for outlets themselves and even to develop new ones, on the one hand, and to develop the knowledge and expertise regarding the crops they introduce on the other hand.

These 3 types of trajectories are all found in the 3 regions studied, although they do not have the exact same characteristics (nature of the crops introduced, organization of the supply chain...) depending on the region in which they occur. The farms in type 3 seem to be slightly smaller and more often under organic production than in the other types, but this study does not show a strong correlation between farms' structural characteristics (size, presence or absence of livestock, conventional or organic production) and the type of crop diversification they implement.

Better taking into account these different possible pathways toward crop diversity appears necessary in order to design appropriate solutions to overcome the obstacles to crop diversification in farms.

1. Introduction

Agrobiodiversity, or agricultural biodiversity, is an essential pillar of the transition to sustainable and resilient agricultural systems (Altieri, 1999; Duru et al., 2015; Kremen et al., 2012). Diversity in crop species, or crop diversification, is the most easily plannable component of this agricultural biodiversity (Lin, 2011); combined with a coherent set of practices, it helps to better manage weed populations (Adeux et al., 2019; Weisberger et al., 2019) and to reduce disease and pest pressure in the fields (Ratnadass et al., 2011). Crop diversification also helps to better regulate biogeochemical cycles - particularly of carbon, nitrogen, and water - especially if it involves increasing the share of legumes in rotations and maintaining soil cover throughout the year (Peoples et al., 2019; Renwick et al., 2019). At farm level, crop diversification can contribute to risk reduction (agronomic risks related to pests, weeds, climatic or economic uncertainties in terms of price and cost variations, labour organization) as well as to a reorganization of productive resources (Li et al., 2019). Integrated into localized agri-food systems, it promotes food security but also employment and health (Garibaldi and Pérez-Méndez, 2019; IPES Food, 2016).

Yet, there has been a simplification and regional specialization of crop productions in Europe and around the world since the 1950s, and even a generalization of single crop farming in some regions (Salembier et al., 2015; Zander et al., 2016). Studies in Europe and the United States have focused on the obstacles to diversification encountered by farmers and emphasize that those obstacles concern farmers' access to inputs, to appropriate knowledge and references, to distribution and processing channels, as well as the organization of productive resources, and the management of the uncertainty and complexity generated by crop diversification (Duru et al., 2015; Mawois et al., 2019; Morel et al., 2020; Roesch-McNally et al., 2018). These different obstacles are linked to the development of a technological lock-in situation in terms of the main species cultivated in Europe, and in other regions of the world (IPES Food, 2016; Magrini et al., 2016; Meynard et al., 2018). Obstacles to crop diversification are therefore systemic and have been in place for several decades.

Despite the lock-in around some main crops - which we shall call 'majority crops' in the remainder of this report (soft wheat, barley, maize and rapeseed, for example, account for 68% of the field crop area and 35% of the total Utilized Agricultural Area in metropolitan France - Agreste 2017 statistics) - experiments in crop diversification do exist but are not well known. In Europe, several of these experiments have been identified in the framework of the DiverIMPACTS research program. It appears necessary to analyse them systemically - that is to say, in such a way as to understand the context in which they are embedded and the dynamics that maintain them (or not) over time (Brunori et al., 2019; Darnhofer et al., 2012) - to be able to propose ways of supporting such processes, which are considered virtuous.

Changes in farmers' practices are processes that are classically analysed as trajectories. Characterizing a trajectory requires a chronological description of farmers' practices and of their evolution. Farming systems approaches use, as their starting point, a range of technical changes, a given "innovation", and they focus on its implications for different aspects of the functioning of a farm (Brédart and Stassart, 2017; Darnhofer et al., 2012). Thus, these approaches account for "chain reactions" that are set in motion with the modification of a given component of the farming system and end up modifying other elements of that farming system. It is possible to categorize practices to highlight, if necessary, the existence of strategies that vary according to farmers or to the period considered (Blesh and Wolf, 2014; Casagrande et al., 2017; Dupré et al., 2017; Yvoz et al., 2020). As Yvoz et al. (2020) point out, a long-term study of practices is necessary not only to understand farmers' strategies independently of annual variations in conditions that may influence their practices, but also to understand strategy changes.

Crop diversification is not an "end in itself" for farmers. It is therefore necessary, in order to promote it, to understand the reasons that prompt farmers to implement it and to identify the farming system transformations it is part of. The factors that lead farmers to adopt a new practice can be explored through interviews aimed at eliciting the actors' viewpoints or choice criteria (Grabowski et al., 2019). Furthermore, relying on farmers' explanations of the changes they have made in their practices and of the motivations behind those changes, makes it possible to offer a detailed description of the determinants of their trajectories (Dupré et al., 2017; Mawois et al., 2019). Existing studies generally distinguish between motivations that are "internal" to a given farmer or farming system, and "external" motivations, which are more related to elements of the economic, social, and political context. This type of approach also makes it possible to look at the difficulties identified by farmers, and more broadly at their evaluation of the changes they have operated. Toffolini et al. (2016) and Brédart & Stassart (2017) emphasize the importance of examining farmers' evaluation criteria - which differ in part from those used by research and development actors - for understanding the observations and interpretations that farmers make and on the basis of which they shape their farming systems. Changes in practices are then seen as step-by-step design processes, in which the regular readjustment of the farmer's goals, practices, evaluation, and knowledge, enables him/her to continuously improve the system (Meynard et al., 2012).

To redesign their practices farmers must mobilize a variety of internal and external resources (Blesh and Wolf, 2014). This is because a given change in practices (e.g., a change in land use) may involve reconfigurations at different levels of the farm and in its relationships with its environment (Delecourt et al., 2019; Reckling et al., 2020). Taking these reconfigurations into account makes it possible to go further in the analysis of the mechanisms of action associated with a change in practice, via the examination of cropping systems understood as "a set of management procedures applied to identically cultivated land parcels", (Sebillotte, 1990) and of the way in which they mobilize the different resources of the farm.

This report presents the trajectories of change in crop diversity observed on farms in three European regions that have diversified their crops; it describes the reasons why farmers undertake these changes, how they evaluate them, and the resources they mobilize to implement these changes. To understand why and how these farmers were able to implement crop diversification practices, adapt the latter to their farming systems and sustain them, we have analysed their long-term trajectory of technical change, as well as the processes at work in these change trajectories at the level of the farming system and of its interactions with its socio-technical environment. The commercialization by farmers of the crops they grow as part of their crop diversification scheme has been identified as a key lever for promoting greater crop diversity; that is why we have chosen to restrict our study to investigating cases in which crops are sold by farmers to external buyers.

2. Material and method

2.1 Crop diversification

Crop diversification at farm level is defined as the process of introduction of new annual crops (limited here to those that are sold by the farmer) which are marketed off the farm, thus leading to an overall increase in the number of plant species grown on the farm (as opposed to a process of substitution of one species for another). This process takes place over periods of several years and involves a set of strategies that result in a greater diversity of crops in both time and space, at the plot and farm levels. The potential contribution of these practices to the production of ecosystem services or to the reduction of some negative externalities of agricultural production are not evaluated in this work.

2.2 Study areas

In order to highlight both the diversification levers that are common to a variety of contexts, and those that are contingent to particular environments, we analyse the crop diversification trajectories of farmers located in three territories with different institutional, market and advisory contexts, and in which several crop diversification initiatives already exist: the *département* of Vendée (administrative unit NUTS 3) in France, the province of Scania (NUTS 3) in Sweden, and the Marches region (NUTS 2) in Italy (Figure 1).

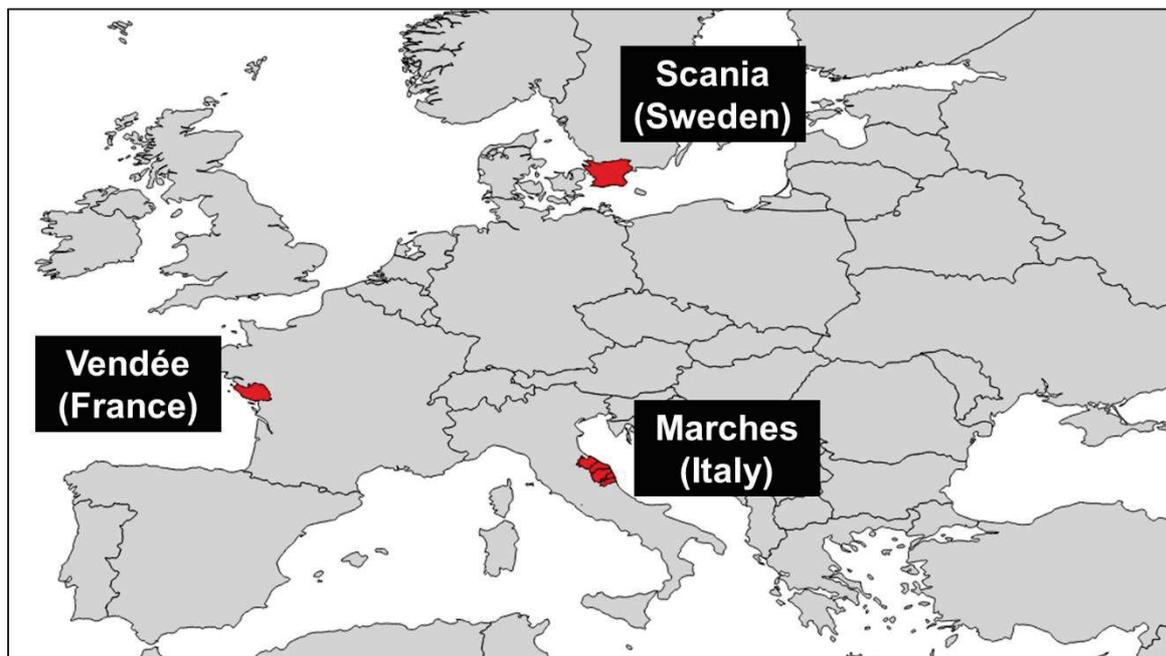


Figure 1 Location of the study areas © EuroGeographics for administrative boundaries

These three European territories are characterized by similar pedoclimatic conditions, although the temperature gradient increases between the Scania and the Marches areas: they are all coastal regions with a humid, relatively mild climate, with mostly brown silty or balanced soils, and low hydromorphy.

The production of both ruminant (cattle) and monogastric (chickens, pigs, ducks, rabbits) livestock is an important sector in Vendée, while Scania and the Marches are cereal-growing regions, except in wooded or mountain areas. Farms in the Marches region often grow olives or vineyards as a secondary production. The size of farms varies greatly from one territory to another, with an average of 11 hectares of Utilized Agricultural Area (UAA) in the Marches, 54 hectares in Scania and 86 hectares in Vendée. Cereal production in these areas is dominated by wheat (soft wheat in Scania, durum wheat in the Marches, mixed in Vendée), and to a lesser extent by spring or summer crops (maize in Vendée, sunflower in the Marches, spring barley and sugar beet in Scania), as well as by rapeseed in Scania. These three territories also differ in terms of how their value chains function - although cooperative organizations have an important role in all three territories - and in the types of diversification crops developed, as well as in the advisory services farmers have access to.

2.3 Sample selection

Our sample comprises 33 farms (15 in Vendée, 8 in Scania, 10 in the Marches) which, combined, account for a wide variety of crops (which vary in terms of plant families, of how species are introduced in cropping systems, and of outlets), and which, at the time of the survey, presented

various degrees of diversification, in terms of the number of species grown on the farms and the share of UAA devoted to diversified crops. We selected farmers who recently (up to about 10-15 years ago) adopted crop diversification by incorporating new cash crops into their production systems. This has enabled us to retrace in detail the processes of change in practices. To select these farms, we used various contact sources and then adopted a snowball sampling method: in the course of our first interviews, we asked the respondents to give us the names of colleagues who, like them, had diversified their crops in the last ten years, and we then selected those that fitted our selection criteria (varied characteristics in terms of production orientation, marketing channels, etc.). The final sample therefore does not claim to be representative but captures a wide range of crop diversification situations.

This work focuses on annual crop production systems. These can coexist alongside other production activities (horticulture, livestock, perennial crops, etc.), which are taken into account in the analysis of the factors that lead farmers to diversify their crop production.

2.4 Conduct of the interviews

We conducted a semi-structured interview with one or more farmers of each farm in the sample and asked them to describe their process of crop diversification, and more specifically (1) to retrace the trajectory of crop diversification, i.e., the evolution of the degree of crop diversity on the farm, and to identify the various crops they have grown in recent years; (2) to identify the reasons for those changes and the criteria they have used to evaluate those changes; (3) to identify the difficulties they encountered during the process and how they overcame them; (4) to explore more closely the role played by knowledge and learning, marketing methods, and productive resources in the implementation of these changes. The interview guidelines are detailed in **Annex 2** of this document.

2.5 Data processing and analysis

2.5.1 Preliminary definitions

Majority crops are defined, at the scale of a study area, as those crops that account for over 70% of the total arable land area on a territory. Thus, the majority crops are:

- › In Vendée, soft wheat (37%), corn (19%) and durum wheat (14%) - 70% in total;
- › In Scania, barley (33%), soft wheat (26%) and rape (12%) - 71% in total;
- › In the Marches, durum wheat (56%) and sunflower (17%) - 73% in total.

We focus on the **diversified cash crops** (DCCs) found in these three territories. These crops are defined, at the farm level, as crops other than the majority crops grown in the territory and which are sold off the farm (including after processing).

For the analysis of each diversification trajectory, we exclusively consider the share of the farm's useful agricultural area that is devoted to cropping systems including cash crops (excluding, therefore, the area that is devoted exclusively to crops for feed or to other types of productions such as horticulture, perennial crops or permanent grassland). We focus on the successive crops and cropping plans grown on each farm during their trajectory. In other words, for each year of the trajectory, we describe an average cropping system (even if there are, in fact, several in each farm). The rationale behind the management, by the farmers, of these cropping systems is taken into account in the analysis of the determinants of trajectories. This **trajectory of cropping patterns**, which will be the focus of our study, results from the evolution of the cropping system(s) of the farm (crop rotations and crop management).

Depending on the farmers' ability to describe the history of their farming system, the starting point of the crop diversification trajectory is defined: either by the first shift from a highly simplified cropping system (where only the majority crops of the territory are grown) to a system where one or more diversified cash crops are introduced (going back to the 1990s at the latest); or by the earliest change related to the introduction of diversified cash crops that the farmer is able to describe.

2.5.2 Variables to be explained

Since the diversification trajectories studied widely differ in terms of their time length as well as in the number of changes in practices, and crops involved, it is not possible to directly compare them. We have therefore defined intermediate variables that help us to characterize crop diversity on the farms studied and its dynamics of evolution. This set of variables describing the crop diversification trajectories are the variables we seek to explain. These variables are defined by:

(1) 7 diversity indicators:

- › The total number of crops grown;
- › Number of diversified cash crops (DCCs);
- › Share of diversified cash crops in the total number of crops grown;
- › Share of diversified cash crops in the total cultivated area;
- › Share of majority crops (MCs) in the total cultivated area;
- › Shannon Index;
- › Crop diversity in rotation or Simpson's reciprocal diversity index (see indicators defined by work package 4).

(2) For each of the 7 indicators, 7 variables characterizing the evolution of this indicator are defined (49 variables in total):

- › Value at the beginning of the trajectory (initial);
- › Value at the time of the survey (current);
- › Change - in absolute terms - between the initial and current values;
- › Relative change (ratio) between initial and current value;
- › Average change per year (in absolute terms);
- › Average change per year (in ratio);
- › Maximum change observed in a given shift in land use;

We also describe the diversification trajectories through 8 variables pertaining to farmers' behaviour towards diversified cash crops:

- › Number of "substitutions" (absolute value and annual average): changes in cropping patterns (excluding normal fluctuations due to parcel sizes) during which one or more diversified cash crops are replaced by one or more other diversified cash crops, with no modification of the DCC/MC area ratio;
- › Number of "reversals" (absolute value and annual average): reduction of the surface area dedicated to diversified cash crops or discontinuation of the latter (excluding normal fluctuations due to parcel sizes);

- Number of diversified cash crops tested (absolute value; average per phase; annual average): total number of diversified cash crops grown for at least one year on the farm during the diversification trajectory;
- The share of diversified cash crops that the farmers continue to grow after testing: ratio of the number of diversified cash crops grown on the farm at the time of the survey to the total number of diversified cash crops encountered during the trajectory (i.e., number of diversified cash crops tested during the trajectory or already present at the beginning of the trajectory).

2.5.3 Statistical classification of trajectories

To analyse the diversity in the trajectories of crop diversification among the farms in our sample, a principal component analysis (PCA) and a hierarchical clustering on principal components (HCPC) are performed for different groups of variables characterizing the trajectories. Three classifications are performed based on:

- The variables characterizing the degree of diversity on the farms at the beginning of the trajectory (7 variables: initial values of the 7 diversity indicators);
- The variables characterizing the degree of diversity on the farms at the time of the survey (7 variables: current values of the 7 diversity indicators);
- The variables characterizing changes in the degree of diversity during the trajectories.

The synthesis of these three classifications makes it possible to construct a typology of diversification trajectories.

2.5.4 Explanatory variables

We then define a set of variables that are independent of the statistical classification of trajectories presented above. These variables are, on the one hand, qualitative variables describing the motivations and resources associated with diversification trajectories, and on the other hand, variables characterizing the structure of the farms surveyed (structural variables). We test these different variables to determine whether they explain the differences observed between the types of trajectories.

2.5.4.1 Qualitative variables

The purpose of these variables is to determine to which extent the change processes associated with crop diversification differ from one type of trajectory to another. The determinants of crop diversification trajectories are analysed qualitatively, based on the summary or transcript of each interview. This analysis is inductive, and led us to define along with the interviews a set of variables and their modalities, which we confronted with the characteristics of the trajectories. The analysis focuses on two dimensions of the crop diversification process:

(1) Farmers' motivations and expectations regarding crop diversification

The question here is what motivates farmers to introduce and maintain (or not) a greater diversity of crops in their farming systems. What are their diagnoses concerning these systems when they make changes in their land uses and practices? which dimensions of the system do those changes concern, and on what scales are those diagnoses performed? What triggers them?

(2) Productive resources, learning and market outlets

We analyse here the nature of the resources (in a broad sense, thus including learning and market outlets) mobilized by farmers to diversify, where those resources come from (are they internal or external to the farm), and how they operate in the trajectories (when and how?).

2.5.4.2 Structural variables

The explanatory variables tested are:

- The territory where the farm is located (Vendée, Scania or Marches);
- The farm’s Utilized Agricultural Area (UAA);
- The presence or absence of livestock on the farm;
- The production method: organic, conventional or mixed.

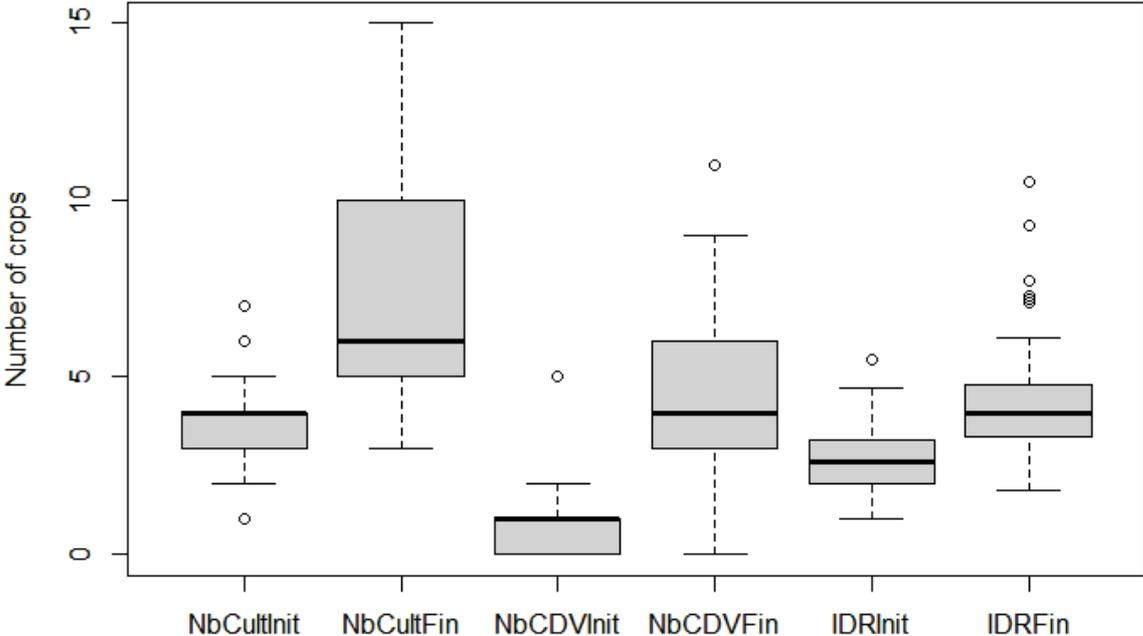
3. Results: Variety in crop diversification trajectories in Europe and their determinants

3.1 Evolution of crop diversity in the sample

3.1.1 Initial and current degrees of diversity

The trajectories studied last between 2 and 26 years, the average trajectory length being 8.5 years. The average start year of these trajectories is 2010.

The dynamics of crop diversification among the farms surveyed is reflected in the change in the average Shannon index from 1.51 to 2.31 between the beginning of the diversification trajectories and the time of the survey; this corresponds to an average annual increase of 0.14. The average number of crops increases from 3.6 to 7.3 (+0.6 crops per year on average). The average share of diversification cash crops in the total cultivated area increases from 15% to 41% (+5 points per year on average).



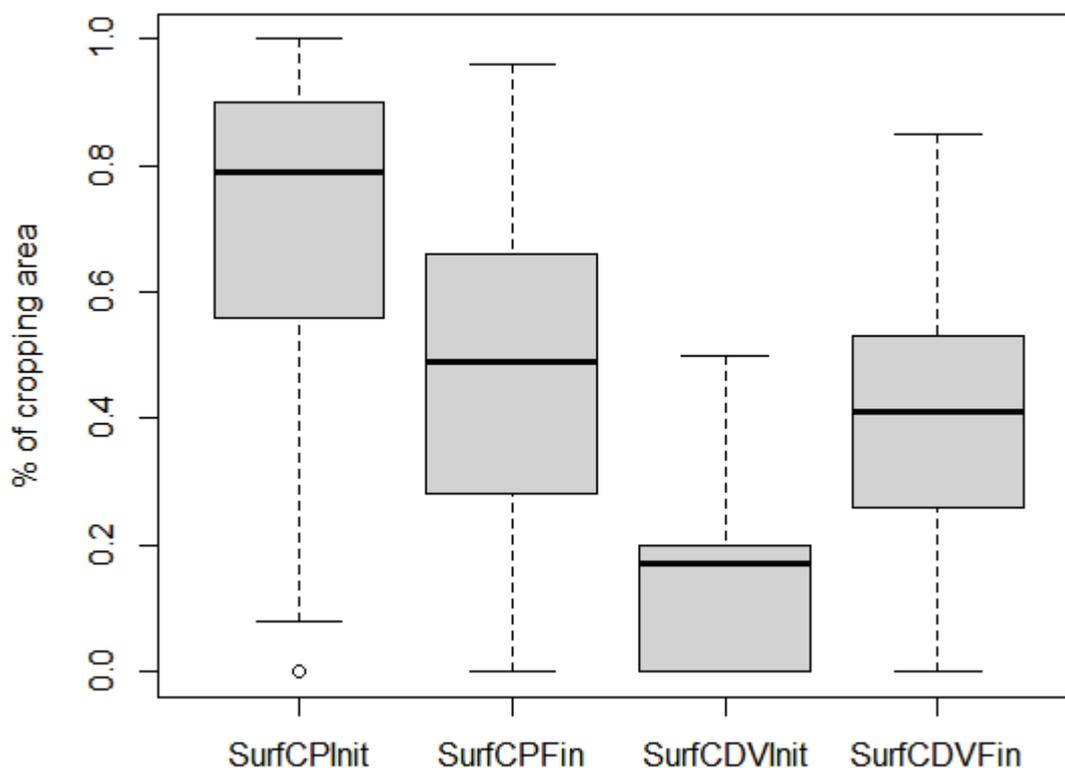


Figure 2: Initial and current diversity levels of the sample

Boxplots summarizing the different variables characterizing the degree of diversity on the farms surveyed at the beginning of the diversification trajectory (Init) and at the time of the survey (End); NbCult: total number of crops; NbCDV: number of diversified cash crops; IDR: crop rotation diversity index; SurfCP: share of majority crops in the total cultivated area; SurfCDV: share of CDVs in the total cultivated area.

3.1.2 Description of crop diversification in each territory

We observe that the degree and type of crop diversity vary from farm to farm, both in their initial cropping systems and in their cropping systems at the time of the survey. The evolution of these systems over the course of the diversification trajectories studied also varies considerably from one farm to the other. 46 different diversified cash crops were identified in all the trajectories (see table 1 below). Of these 46 crops, 10 are common to the three study areas (with varying frequencies from one area to another), 8 are grown in both Vendée and the Marches (which also have in common durum wheat as a majority crop), 5 are grown in both Vendée and Scania, and 2 in the Marches and Scania, i.e., 15 crops common to two areas. Finally, 21 crops are grown in only one territory (12 in Scania, 5 in Vendée, 4 in the Marches).

Table 1: List of diversified crops grown in the territories studied - MC: Majority crop on the territory.

Majority crops are soft wheat, maize and durum wheat in Vendée; barley, soft wheat and rapeseed in Scania; durum wheat and sunflower in the Marches

Diversified crops	Frequency (/33 trajectories)	Territories		
		Vendée	Scania	Marches
Fava bean	13	3	6	4

Barley	11	8	MC	3
Chickpea	11	3		8
Lentil	10	4	1	5
Hemp	8	5	2	1
Clover	8	1	4	3
Garden pea	8	1	6	1
Alfalfa	8	2		6
Sunflower	7	6	1	MC
Protein pea	7	5	1	1
Spelt	7			7
Oat	6	1	3	2
Rapeseed	6	6	MC	
Bean	6	4		2
Buckwheat	6	2		4
Soft wheat	5	MC	MC	5
Sugar beet	5		3	2
Potato	5	1	4	
Flaxseed	4	3		1
Millet	4	1		3
Quinoa	4		3	1
Triticale	4	4		
Maize	3	MC		3
Rye grass	3	2	1	
Sorghum	3	1		2
Beetroot	3		3	
Rye	3		3	
Soybean	2	2		
Fescue	2		2	
Grass pea	2			2
Lupin	1	1		
Foxtail millet	1	1		
Cucumber	1		1	
Chia	1		1	
Garlic	1		1	
Onion	1		1	
Celery	1		1	
Lettuce	1		1	
Amaranth	1		1	

Camelina	1		1
Spinach	1		1
Coriander	1		1
Mustard seed	1		1
Total (/46 crops)		26	26
			22

3.1.2.1 Vendée (15 trajectories)

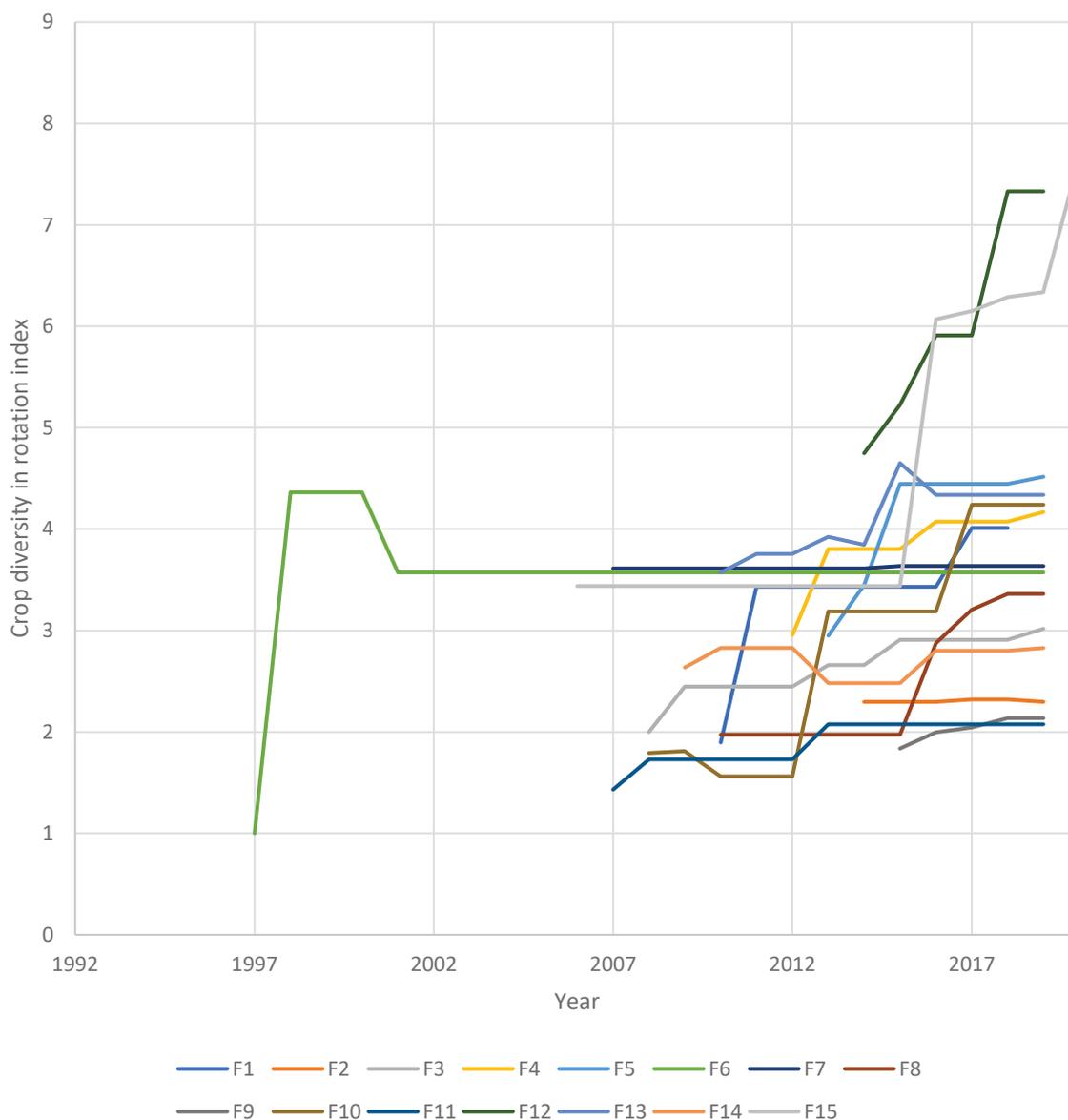


Figure 3: Evolution of the Crop diversity in rotation index on farms in the Vendée region
F: code for farms in Vendée (France)

The cropping systems in Vendée are dominated by maize and wheat (mostly soft wheat, and durum wheat in certain areas), with maize monocropping in the plain area in the south, and maize-soft wheat systems, sometimes with zones of grassland and forage crops for ruminant livestock, in the bocage areas. The main actor downstream of the supply chain is a cooperative. A few agricultural

wholesale companies are also present but play a lesser role in terms of sales volumes. Advisory services agencies, on the other hand, are numerous; they vary in size, and both offer individual consulting services and run development groups.

26 diversified cash crops were identified in the diversification trajectories of the 15 farms surveyed. The most common crops are those for which there is a global market: barley (8 farms), rapeseed (6 farms), sunflower (6 farms). Next come crops that are mostly produced under contracts with the cooperative, which has developed supply chains for hemp (5 farms), lentils (4 farms), flaxseed (3 farms), chickpeas (3 farms), and alfalfa seed (2 farms). There are also crops produced under quality labels and bought by a variety of actors (for example Protected Designation of Origin "Moquette de Vendée" for beans produced on 4 farms). Finally, some diversified crops are produced for the animal feed industry, which has a strong presence in the region (several independent manufacturers or those linked to wholesale companies; a factory owned by the cooperative; etc.): triticale (4 farms), fava beans (3 farms). Protein peas are present in the trajectories of 5 farms, but at the time of the survey, were produced as a cash crop by only one farm (F15). Diversification mainly concerns spring or summer crops, which are grown as alternatives to maize in the initial maize-wheat systems. The number of crops grown by the farms surveyed has increased from 3.7 on average (including 1.2 diversified cash crops) to 6.4 (including 3.6 diversified cash crops), with 4.2 crops tested during the trajectory. The share of diversified cash crops in the total cultivated area has increased from 13% to 32%, while that of the majority crops has decreased from 76% to 56% (see territorial comparison in **table 2** below).

3.1.2.2 Scania (8 trajectories)

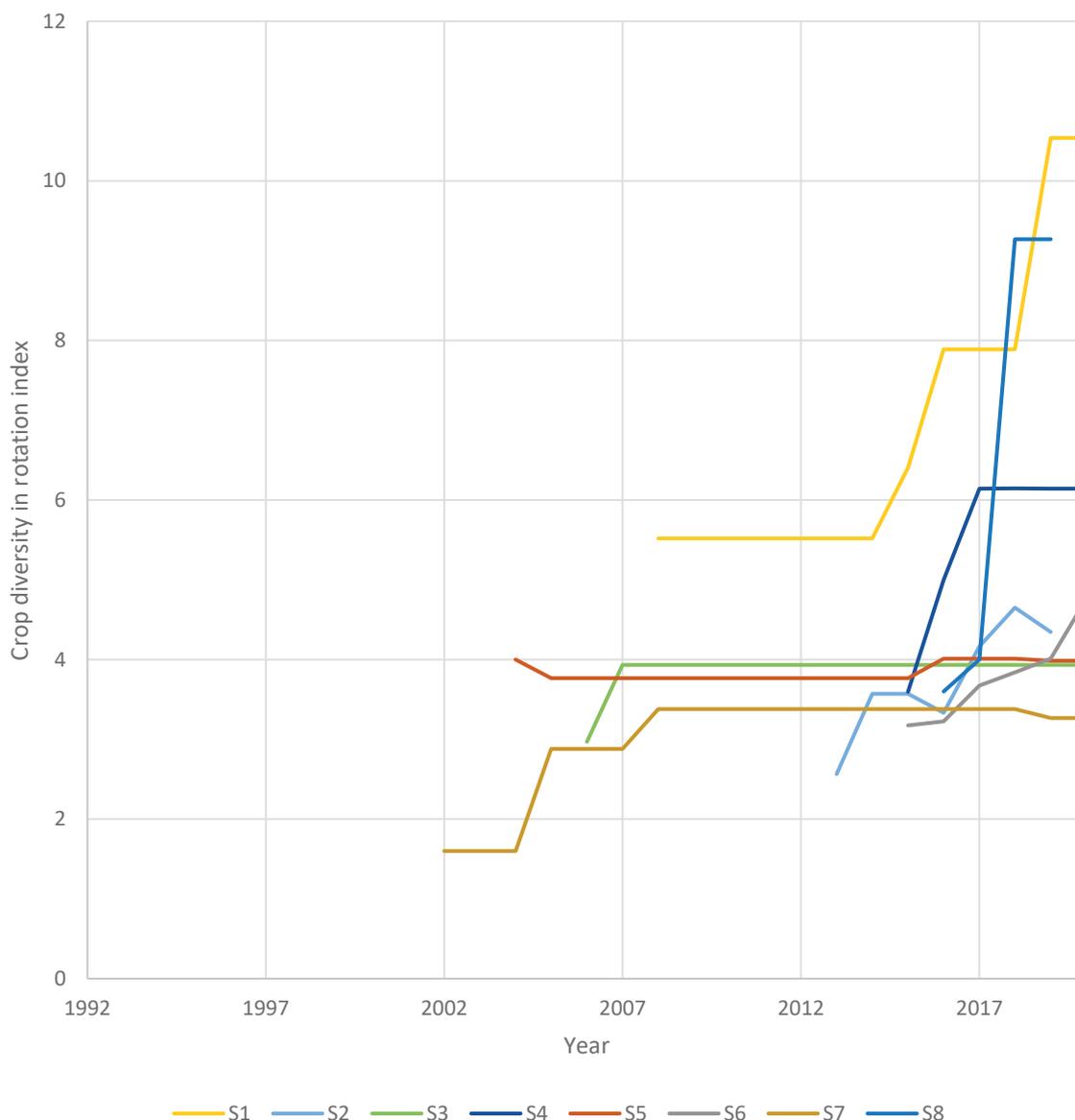


Figure 4: Evolution of the Crop diversity in rotation index on farms in Scania
S: code for farms in Scania (Sweden)

The dominant cropping systems in Scania are based on rape-wheat-wheat or rape-wheat-barley rotations. The main downstream buyer is a national cooperative, but other smaller cooperatives or wholesalers are also present in the area. Two to three private or semi-public advisory services agencies provide farmers with consulting services, often on an individual basis.

As in the Vendée region, 26 diversified cash crops were identified in the diversification trajectories examined; this constitutes a high degree of crop diversity in relation to the sample size. The most common crops are garden peas (6 farms), which used to be sold to a pea freezing plant that closed in 2016. None of the farmers surveyed were growing garden peas at the time of the survey, but a new factory is currently looking to redevelop this industry in Scania. Fava beans are also a common crop (6 farms) and are often destined for the seed industry. Potato (4 farms) and sugar beet (3 farms) crops also occupy a significant place and are sold to a starch manufacturer and a sugar refinery. We also found various forage crops destined for seed production (clover, ryegrass, fescue), field vegetables

(beetroot, etc.), and crops for human consumption such as oats, quinoa and rye, each of which is grown in 3 farms.

Overall, the farms we have surveyed in Scania displayed higher levels of diversity than those in the other two territories at the beginning of the trajectories, in terms of the total number of crops grown (but not of the number of diversified cash crops) and share of diversified cash crops in the total cultivated area. The farms surveyed shifted from an average of 4.1 crops (including 1.1 diversified cash crop) to 8.1 crops (including 4.5 diversified cash crops), with 6.6 crops tested during the trajectory. The share of diversified cash crops in the total cultivated area increased from 21% to 35%, while that of the majority crops (rapeseed, soft wheat, barley) decreased from 74% to 57% (see table 2 below).

3.1.2.3 The Marches (10 trajectories)

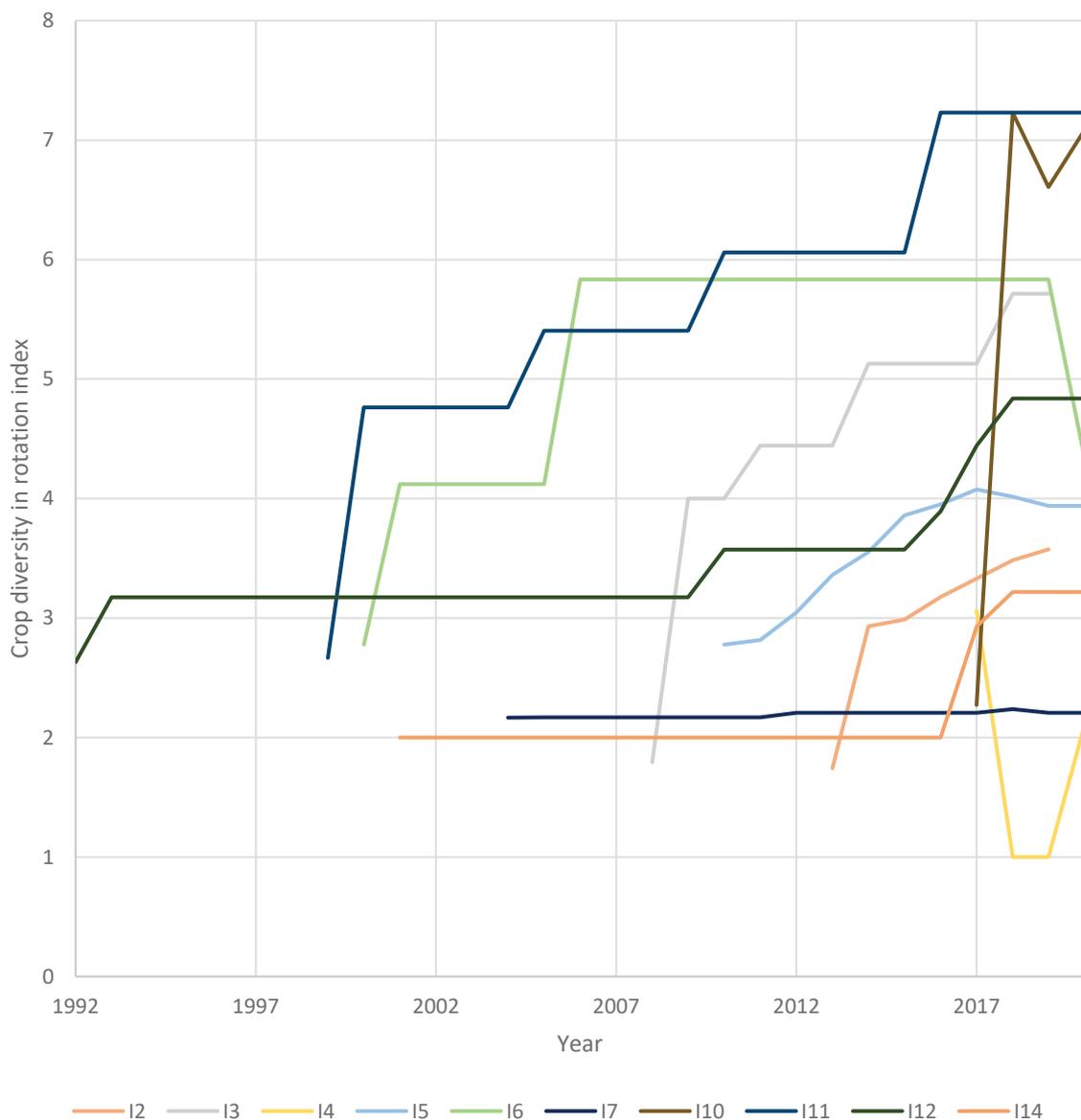


Figure 5: Evolution of the Crop diversity in rotation index on farms in the Marches
S: code for farms in the Marches (Italy)

The cropping systems of the Marches are largely dominated by durum wheat. Sunflower also has a strong presence in the area. The main downstream actors are the *consorzi* - a network of cooperatives - and various wholesale companies. Advisory services agencies are relatively underdeveloped; there are advisory services - managed by agricultural unions - that tend to focus more on administrative and accounting support, as well as a few private independent consultants.

22 diversified cash crops were identified in the diversification trajectories of the farms surveyed. The majority of these crops are for human consumption: spelt (7 farms) via the supply chains developed by a company that specializes in this crop, and soft wheat for bread-making and bakery (5 farms); pulses (chickpeas in 8 farms, lentils in 5 farms) that are collected by most of the downstream actors (i.e., cooperatives and wholesalers); barley for roasting (3 farms), buckwheat (4 farms), millet (3 farms), and maize (3 farms). Some crops intended for animal feed are also grown: alfalfa (6 farms) for which several dehydration factories as well as seed companies provide outlets; fava beans (4 farms), and clover (3 farms).

The farms surveyed in the Marches have a much higher share of diversified cash crops than those in the other two territories. Indeed, their share of diversified cash crops in the cropping area increased from 13% to 61%, with the share of majority crops decreasing from 53% to only 22% of the cultivated area. The number of crops increased from an average of 3.1 (including 0.7 diversified cash crops) to 7.9 (including 5.4 diversified cash crops), (see table 2 below).

Table 2: Summary of the main indicators of initial and current diversity in the three study areas.

The values of the indicators correspond to the average of the sample

Study area	Vendée	Scania	Marches
Number of farms surveyed	15	8	10
Average utilized agricultural area (ha)	182	398	135
Number of farms with livestock	11	2	4
Number of organic farms (mixed farms)	2	2 (2 mixed)	7
Number of diversified cash crops identified	26	26	22
Initial number of crops	3,7	4,1	3,1
Current number of crops	6,4	8,1	7,9
Initial number of diversified cash crops	1,2	1,1	0,7
Current number of diversified cash crops	3,6	4,5	5,4
Number of diversified cash crops tested	4,2	6,6	6,2
Initial diversified cash crops area	13%	21%	13%
Current diversified cash crops area	32%	35%	61%
Initial majority crops area	76%	74%	53%
Current majority crops area	56%	57%	22%

3.2 Classifications of diversification trajectories

Analysis of the initial and current diversity levels of the farms studied - defined by the diversity indicators presented in section (2.5.2), reveals several groups of farms with similar diversity levels.

3.2.1 Classification based on initial diversity variables

The initial farming systems of the farms surveyed varied widely in terms of crop diversity and ranged from highly simplified cropping systems such as monocropping, on the one hand, to relatively diversified systems, on the other. Indeed, these "initial" cropping systems comprised between 1 and 7 crops in total, including 0 to 5 diversified cash crops, with diversified cash crops representing

between 0 and 50% of the cropping area, and with majority crops accounting for 0 to 100% of the cropping area.

A principal component analysis based on the initial state variables allows us to position the farms along two axes that explain about 80% of the variance in the sample. A hierarchical clustering on principal components (Figure 6.1 below) based on the initial diversity variables reveals 5 clusters of farms with similar cropping system diversity.

- **Cluster 1** includes 7 farms (F3, F6, F9, F11, I2, I3, I14) whose initial cropping systems only comprise majority crops. It is logical, therefore, that these cropping systems should have diversity indices (Shannon, Crop diversity in rotation) and a number of crops lower than the sample average (2.1 crops on average against 3.6 in the overall sample).
- **Cluster 2** includes 6 farms (F2, I4, I6, I7, I10, I12) for which the share of majority crops in the cropping area at the beginning of the trajectory is much lower than that of the overall sample (17% versus 68%), but which do not necessarily grow diversified cash crops. These are mixed crop-livestock systems characterized by a high level of feed autonomy. These systems include meadows as well as cereals (other than the majority crops grown in the region) for livestock feeding rather than commercialisation. The only exception is farm I6 where surplus soft wheat, barley and alfalfa are sold. With regards to the other initial state variables, these farms' initial cropping systems are not significantly different from the other farms in the sample.
- **Cluster 3** includes 9 farms (F1, F4, F8, F10, F14, S2, S7, I5, I11) in which the initial total number of crops is not significantly different from that of the other farms in the sample, but which have a larger share of diversified cash crops in their system (diversified cash crops represent 43% of their total number of crops and 25% of the cultivated area, compared to 25% and 15% respectively in the overall sample).
- **Cluster 4** includes 10 farms (F5, F7, F13, F15, S1, S3, S4, S5, S6, S8) for which both the diversity index and the total number of crops are significantly higher than the sample average: Crop diversity in rotation index of 3.6 against 2.7; Shannon index of 1.97 versus 1.51; and 4.5 crops on average versus 3.6 in the sample. Farms F5, F7, F15 and S1 grow crops as feed for their livestock, in addition to majority crops and diversified cash crops.
- Finally, **cluster 5** is a special case in that it only comprises farm F12, whose initial level of diversity is much higher than that of the other farms in the sample: indeed, F12 grows a larger number of crops and has a larger proportion of diversified cash crops than other farms: 7 crops including 5 diversified cash crops, representing 44% of the cultivated area, and a Crop diversity in rotation index of 4.5.

Thus, there is a dichotomy between, on the one hand, farms that grow a few diversified cash crops on a relatively large area (Cluster 3), and on the other hand, farms that produce a large number of crops on areas that are not necessarily large (Cluster 4). An examination of the evolution of crop diversity on farms shows that this dichotomy is reinforced over time (i.e., between the beginning and the end of the trajectories).

3.2.2 Classification based on current diversity variables

The diversity of the cropping systems studied at the time of the survey is even greater than that observed at the beginning of the trajectories. The total number of crops varies between 3 and 15; the share of diversified cash crops in the cropping area varies between 0% and 85%, and the share of majority crops varies between 0% and 96% depending on the farms.

A hierarchical clustering on principal components based on the current diversity variables (Figure 6.2 below) reveals 3 groups of farms whose cropping systems at the time of the survey have a similar level of diversity, and which can be positioned along 2 axes that explain about 80% of the variance: this time, the distinction between the systems is made according to whether they present a low level of crop diversity, a high level of diversity in terms of the number of crops, or a high level of diversity in terms of the share of diversified cash crops in the cropping area.

- **Cluster 1** corresponds to 11 farms (F2, F5, F6, F7, F9, F11, F13, F14, S3, S5, S7) whose cropping systems are less diversified than the others for all the diversity indicators considered: on average, 5 crops including 1.8 diversified cash crops. The diversified cash crops represent 16% of the cropping area while the majority crops represent 70% of the area.
- **Cluster 2** includes 13 farms (F1, F3, F4, F8, F10, S2, S6, I2, I4, I5, I6, I7, I14) with a higher share of diversified cash crops than other farms: 2/3 of the crops, on average, are diversified cash crops, and that latter account for 53% of the cropping area. However, their Crop diversity in rotation index is lower than the sample average: 3.6 compared to 4.5 on average.
- **Cluster 3** comprises 9 farms (F12, F15, S1, S4, S8, I3, I10, I11, I12) with a significantly higher level of crop diversity than the other farms in the sample for 6 of the 7 indicators used: 11.4 crops on average, including 7.7 diversified cash crops. The diversified cash crops represent 56% of the cropping area while the majority crops represent 30% of the area. The crop diversity in rotation index is 7.3.

We observe - both at the beginning and at the end of the trajectory - a distinction between the diversity variables related to the share of diversified cash crops in the system, on the one hand, and the variables related to the number of crops (total number of crops and number of diversified cash crops), on the other. In other words, we have identified **farms that have diversified their crops in terms of “surface area”** (they grow a small number of crops, but each diversified cash crop represents a significant share of the crop rotation: they can have a 3-, 4 -or 5-crop rotation pattern, as opposed to a 2-crop pattern, in general, in the dominant systems), and **farms that have diversified in terms of “numbers” of crops** (they grow many diversified crops, which contribute to reducing the share of majority crops in the system). An in-depth analysis of diversification trajectories will help us to explain these differences and identify the evolutionary mechanisms, decision rules and drivers of change associated with these different types of diversification processes.

6.1. Classification based on the initial diversity variables

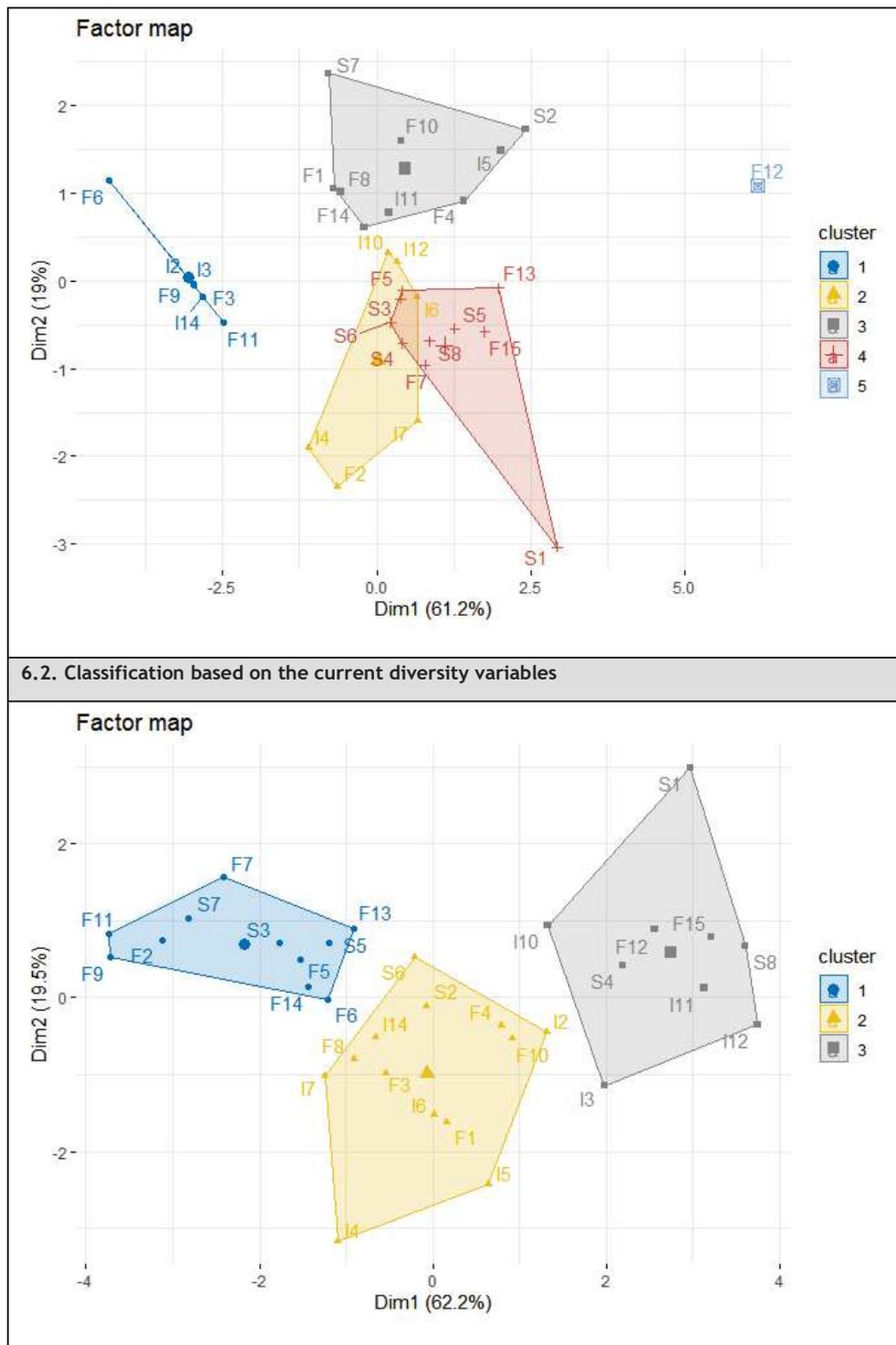


Figure 6: Results of the hierarchical clustering on principal components (HCPC) for the variables of initial and current states of crop diversity in the sampled farms

PCA+HCPC statistical treatments were applied on the variables “total number of crops” (NbCult), number of diversified cash crops (NbCDV), share of diversified cash crops in the cultivated area (SurfCDV), share of majority crops in the cultivated area (SurfCP), Shannon index (Shannon), crop rotation diversity index (IDR). F: code for farms in Vendée (France). S: code for farms in Scania (Sweden). I: code for farms in the Marches (Italy).

6.1: Dimension 1 (x-axis) is positively correlated to the Shannon, NbCDV, NbCult, IDR, SurfCDV and PartCDV indices, and negatively correlated to SurfCP. Dimension 2 (y-axis) is positively correlated to PartCDV, SurfCDV, NbCDV, and negatively correlated to Shannon, NbCult, IDR indices.

6.2: Dimension 1 (x-axis) is correlated to the same indicators as 6.1. Dimension 2 (y-axis) is positively correlated to IDR, SurfCP, NbCult, Shannon, and negatively to PartCDV, SurfCDV.

3.3 Typology of crop diversification trajectories

Finally, a third statistical classification (PCA + HCPC) is performed for the variables of evolution of crop diversity during the trajectories and the variables related to the behaviour of farmers regarding diversified cash crops. This classification makes it possible to distinguish **3 groups of trajectories** that differ in their diversification dynamics, and that strongly overlap with the 3 groups representing varying levels of current crop diversity presented above (3.2.2).

The intersection of the 3 diversity classifications (initial state, current state, evolution) finally leads us to distinguish **3 major types of crop diversification trajectories**, primarily described by their crop diversity evolution variables. The characteristics of the trajectories associated with each of these types, in terms of indicators of the evolution of crop diversity, are presented below (*Diversification trajectory*). The “borderline” cases from the point of view of these trajectories are also presented (*Special cases*). The different explanatory variables defined in the materials and methods section (2.5.4) are then mobilized to describe the processes of change and the determinants of these three types: *Motivations and expectations towards diversification*, *Resources mobilized to diversify*, *Structural characteristics and place of territories*.

3.3.1 Type 1: Low or slow diversification

Diversification trajectory

Type 1 corresponds to diversification trajectories during which the share of majority crops in the cropping area decreases very little over time (from 60% to 53% of the area, i.e., -1 point per year on average). The process of crop diversification is either limited (i.e., the levels of diversity achieved are lower than in the other farms of the sample: on average 5.6 crops including 2.5 diversified cash crops, representing 29% of the cropping area) or unfolds over a long period of time (i.e. the pace of evolution of these indicators is slow): 9 of the 14 farms in this group are in the “low diversity” group of the classification of the current diversity variables (section 3.2.2). During their diversification trajectories, farmers generally introduce one or two diversified cash crops in their crop rotation (1.2 on average, with 3.6 crops tested), each of these crops representing about 10% of the cropping area.

Special cases

Most farms in type 1 end up with a lower level of diversity than the rest of the sample (cluster 1 of the classification on current diversity variables in section 3.2.2). However, farms F12, S2, I5, I6 and I7 correspond to farms that did not diversify much during the study period, but whose systems were already, at the beginning of the trajectory, more diversified than average. They end up in cluster 2 and cluster 3 of the classification on current diversity variables (section 3.2.2).

Motivations and expectations towards diversification

The introduction, in the course of these trajectories, of diversified cash crops is primarily motivated by economic considerations: supplementing the income for livestock production, producing cash crops with higher added value, benefiting from the access to new market opportunities (for example, following the proposition of a contract by a downstream actor). Some of the farmers engaged in diversification processes mention agronomic benefits, and in particular the carry-over effect that the newly introduced crops can have on the yield of the crops that are already grown on the farm; but these benefits are presented more as an added bonus than as the reason for introducing the crop. In other words, farmers in this type of trajectory do not implement crop diversification or rotation lengthening for sustainability purposes, or at least not with cash crops. However, in this type of

trajectory, there are production systems diversified in terms of the Shannon index in which diversification consists in the introduction of crops for animal feed and/or the introduction of cover crops. Unlike farmers in the other two types of trajectories, these farmers do not encounter or identify any major problems in their initial simplified cropping systems: they are satisfied with the performance of the various crops - particularly of the majority crops - in their cropping systems. This explains why these trajectories have stabilized with a relatively low degree of crop diversification in relation to their cropping area. It also explains why farmers do not exclude the possibility of turning back to the original cropping system should they be dissatisfied with the diversified cash crops. In this case, they do not necessarily seek to replace the discontinued crop with another.

Resources mobilized to diversify

The difficulties farmers encounter, and which lead them to discontinue certain crops or to reduce the surface area devoted to diversified cash crops, are often related to the crop management, which farmers have difficulty mastering due to a lack of knowledge and references on those crops (particularly knowledge and references relevant to their specific situation). As these farmers mostly market their diversification crops through relatively unstructured channels (spot markets, contracts with actors of newly developing supply chains, relatively informal chains, etc.), they do not find, among these actors, any real expertise on the new crops.

Structural characteristics and place of territories

All three territories are well represented in this type, which is the most frequent in the sample, with 3 farms from the Marches, 4 farms from Scania and 7 farms from Vendée. The Marches region is slightly under-represented and the Scania and Vendée regions are slightly over-represented. The average UAA (247 ha), the share of farms with livestock production (7/14) and the share of organic farms (4 + 1 mixed/14) are close to those of the global sample.

In Vendée, the diversification species found in type 1 are mainly “commodity” crops (rapeseed, barley, sunflower, etc.) or niche crops with no guaranteed outlet in the region (millet, buckwheat, etc.). Type 1 corresponds to the two farms in the sample that are in organic production (F2, F5). These two farms are very autonomous on animal feed and grow few or no cash crops. Diversified cash crops are seen by these two farmers as a means of generating additional income through crops with high added value (potatoes, beans). Type 1 also includes three of the four Vendée farms that do not have livestock. These are plain cereal farms that irrigate part of their crops (often maize at least), which allows them to stabilize yields. They generally encounter fewer difficulties with maize-wheat cropping systems than farms located in areas with lower yield potential. It can also be assumed that diversification is perceived as a greater economic risk by these farmers than by those who also get income from livestock production. Finally, this type of trajectory includes Vendée farms that have switched to soil conservation agriculture (F12, F13) or to practices close to it (F7). These farmers grow many species in cover crops, without necessarily extending their rotations much. They tend to test more crops than other farmers (7 for F12, 11 for F13).

In Scania, the main diversified cash crops found in type 1 are garden peas (S2, S3, S7), abandoned by all farms following the closure of the freezing plant that processed them, and fava beans (S2, S5, S7) for animal feed or seed production. Some farms also have diversified cash crops that have been present “historically” (the farmers are not able to say when the production of this crop began on their farm) in connection with industries located in the area: industrial potatoes (S2) or sugar beets (S3). These farmers are trying to introduce new crops, but the share of these new crops in their system remains limited (by the direct sales outlet for garlic in S2, by constraints on the choice of plots for onions in S3, by a phase of experimentation on the management and marketing of hemp in S5). In S7, the attempt to introduce clover ended in the discontinuation of the crop following the prohibition of a desiccant herbicide that the farmer considered essential for the proper conduct of the harvest.

In the Marches, the three farms of type 1 have spelt as their most developed diversified cash crop, grown as a replacement for other cereals (soft wheat or durum wheat in particular). As in Scania, farmers are trying to introduce other diversified cash crops, in particular pulses (I6, I7). However, these attempts remain limited to small areas or lead to the discontinuation of the crops tested. As in Scania, there are also diversified cash crops that have been historically present on the farms (alfalfa for I5, barley for I6).

> Example of type 1 trajectory: Farm F2

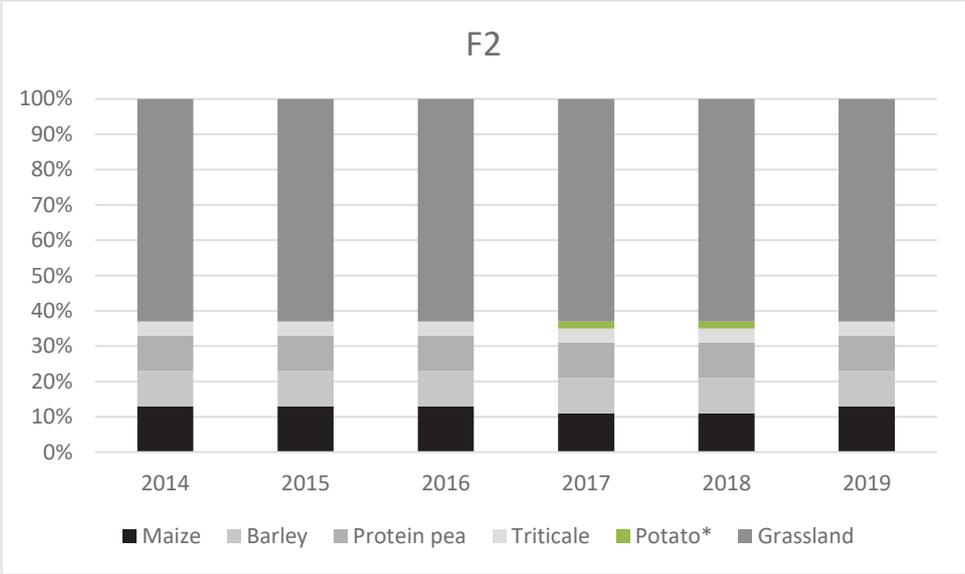


Figure 7: Evolution of the crop rotation of farm F2 (surface area of each crop in % of the cropping area)

*diversified cash crop

Farm F2 is an organic livestock breeding farm (suckler cows and pigs), whose cropping systems are aimed at achieving feed autonomy. In the course of the diversification trajectory studied (2014-2019), a single diversified cash crop was introduced, on a small area, but was discontinued in 2019. This crop (potatoes) was introduced for economic reasons: the farmer's objective was to supplement the income generated by livestock activities by producing a high-value crop. The outlet for potatoes emerged as a result of discussions between a group of farmers (mainly organic mixed crop-livestock farmers) farm F2 was part of, and a multinational agri-food company with a local presence. Their objective was to create a supply chain for organic vegetables produced in a mixed crop-livestock context, which would remain under the control of the farmers, autonomous from the existing processing infrastructures. Indeed, the local cooperative, which runs those processing units, has a number of demands (on the choice of varieties for example) that are not compatible with the constraints of the farmers collective. Thus, a simplified joint stock company was created in which the majority of shares were held by the farmers in the group. The farmers organized themselves and partnered with an agronomist from the agri-food company to set up crop management, collection, harvesting and processing. The surface area devoted to vegetables in this setting slowly increases. However, the farmers in farm F2 determined after two growing seasons of potato that they would not be able to achieve the margins they had hoped for due to the lack of an irrigation system on their farm. Furthermore, producing potatoes required a great deal of labour time. They therefore decided to discontinue the crop and consider testing another crop for the supply chain in the coming years (perhaps carrots). They are still members of the joint company.

> Example of type 1 trajectory: Farm S3

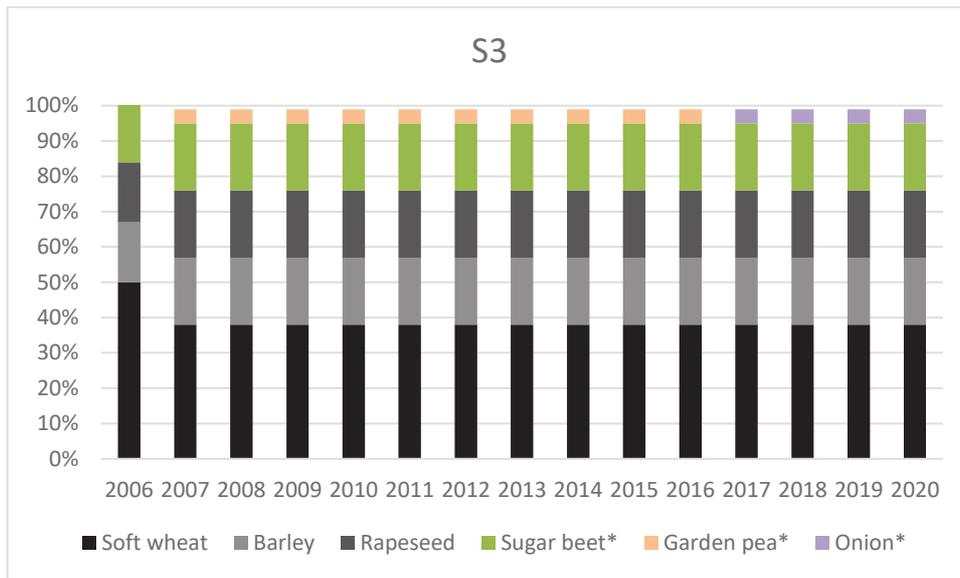


Figure 8: Evolution of the crop rotation of farm S3 (surface area of each crop in % of the cropping area)

*diversified cash crop

Farm S3 is a conventional cereal farm that already had a relatively high degree of crop diversity at the beginning of the trajectory, with a rapeseed - soft wheat - soft wheat - sugar beet - barley or rapeseed - soft wheat - barley rotation system. This rotation pattern has yielded relatively good results but needs to be adjusted each year, according to the weather conditions during the sowing period of each crop. The farmer wishes to remain cautious regarding the amount of time required before replanting the same crop species because he has already observed problems with nematodes on rapeseed and diseases in wheat that he attributes to the fact that rotation sequences are too short. He therefore makes sure that rape and beet are not grown on the same plot more than once every 5 years. He also wants to reduce the share of straw cereals in his cropping system and find other spring crops to plant after the beetroot, as alternatives to barley. The first diversified cash crop introduced (apart from beetroot, which the farmer already grew in 2006) was peas; they were initially intended for the food industry (deep-freezing). Following the closure of the pea freezing plant, the farmer turned to the seed sector to continue producing peas, but he had to take care of the harvesting and storage of the crop himself. He considered that this represented too much of a risk and too much of a burden for him, as both operations are difficult to manage. Despite the previously observed positive effects of the crop, peas were thus discontinued. After the pea crop was discontinued, the farmer was contracted by an agri-food company that was looking for local producers to produce onions. The area of the crop is currently limited by the amount of labour it requires and by plot constraints (need for light soil and access to irrigation).

3.3.2 Type 2: Increase in the surface area devoted to diversified cash crops

Diversification trajectory

Type 2 corresponds to diversification trajectories whereby farmers introduce a relatively small number of diversified cash crops into their systems (+3.4 diversified cash crops on average, i.e., one additional diversified cash crop every 2 years), but on a significant share of the farm's area (the share

of cropping area devoted to diversified cash crops has increased from 11% to 46% on average). Their diversification trajectories are gradual in that the new crops are often introduced one at a time. In most of these trajectories, we observe that the increase in the area devoted to diversified cash crops reaches a plateau after a few years. In other words, the share of the total cropped area devoted to majority crops does not fall below a certain percentage (48% on average) for these trajectories. Once this plateau is reached, the changes in the crop rotation generally correspond to total or partial substitution of some of the diversification crops by others. A few of the type 2 farmers rise above this plateau and end up drastically reducing the majority crops (down to 36% of the area for F10, 32% for S1, and even 0% for I4).

Special cases

Two "borderline" trajectories are identified. Farms F14 and S1 fit this trajectory and correspond respectively to intermediate cases between type 1 and type 2 (i.e., less diversified than other type 2 farms), and between type 2 and type 3 (i.e., more diversified than other type 2 farms), but the evolution of crop diversity over time in these two farms corresponds to that of farms with type 2 trajectories.

Motivations and expectations towards diversification

The motivations behind crop diversification for type 2 farmers are much more often related to agronomic considerations than those of type 1 farmers. Their most frequent expectations in this regard are (a) to be able to control certain weed populations, (b) to improve or preserve the soil quality, and in particular its structure (by minimizing tillage, interventions in degraded soil conditions, etc.), (c) to reduce the use of all or part of the inputs (especially plant protection products), and (d) to eliminate or reduce the pressure from pests and diseases associated with too short delays before replanting the same crop species on the same plots, a practice that was common in the original system. These agronomic motivations, which lead farmers to extend crop rotation length, are most often combined with the identification by the farmers of new market opportunities (i.e., the identification by farmers of diversified crop supply chains that already exist locally, and which can provide new market opportunities, without them needing to intervene in the development of these supply chains - unlike farmers in type 3). Another secondary motivation frequently mentioned by these farmers is the desire to reorganize their annual work schedule (i.e., to group certain operations, or on the contrary, distribute the workload over a longer period of time).

Resources mobilized to diversify

The significant increase in the surface area devoted to diversified cash crops in these trajectories, and their relative stability once the first diversified crops have been introduced (there are few situations in which the farmer reduces or discontinues a diversified crop: 2 on average per trajectory, compared to 2.6 for type 1 and 3.6 for type 3), are linked to the fact that these farmers work mainly with formalised supply chains, and the volumes they must supply to the latter are fixed by contract at the beginning of each season, at the latest. The actors downstream of these supply chains provide farmers with resources in order to enable them to produce the required volumes. These resources mostly take the form of knowledge and references on crop management, developed or collected by the downstream actor. They may also include additional equipment or manpower when they are necessary, particularly for harvesting operations that cannot be carried out with the usual production resources of one farm. This diversification dynamic can also be linked to the nature of the motivations driving the farmer to diversify, which are more stable than those of type 1 farmers: when type 2 farmers face a failure or difficulties with a diversification crop, they look for one or more substitute crops because they seek to maintain a level of diversity rather than to respond to a one-off opportunity.

Structural characteristics and place of territories

Type 2 is quite marked by the Vendée territory, which represents 6 of the 10 trajectories in this type, while the Scania and Marches regions each represent 2 farms of this type. The average UAA and the share of farms with livestock are, as for type 1, close to those of the overall sample. Organic farming, on the other hand, is under-represented (2/10 farms compared to 12/33 in the overall sample). The strong presence of Vendée farms (where organic farming is less represented) in this type may explain this discrepancy.

In Vendée, type 2 corresponds to farms that are members of the local cooperative, in conventional agriculture and, for five out of six of them, integrating ruminant and/or monogastric livestock production. These farms have access to production contracts for diversification supply chains developed by the cooperative (hemp, oilseed flax, lentils, etc.) and combine several of these crops. They are therefore in a fairly integrated setting where inputs and advice are provided by the cooperative who buys the diversification crops (as well as, most of the time, the majority crops) and sets the specifications for the production of these crops. Two farms deviate slightly from this pattern. Farm F1 begins its trajectory with production contracts with the cooperative (hemp and oilseed flax). However, later in the trajectory, the farmers seek to work with other actors in order to have more leeway in the management of their crops. They therefore look for alternative outlets for the diversification crops already grown, or for new diversification crops that would allow them to work with other buyers. Farm F8 does not usually work with the cooperative: it produces rapeseed sold "to the highest bidder" and oilseed flax in partnership with a wholesaler. It is only at the end of the trajectory that the farmer, already quite experienced in diversification, hears about the hemp supply chain through colleagues and is able to obtain a contract with the cooperative.

In Scania, type 2 corresponds to two farms with contrasting profiles. Farm S1 is an organic crop-livestock farm. The farmer used to produce garden peas, which were replaced by fava beans when the freezing plant closed. Starting in 2015, he decides to seek contracts with local companies to produce field vegetables, with the desire to diversify his crops. He is later put in touch, via his technical advisor, with a company offering contracts for niche crops for human consumption, which gives him the opportunity to grow quinoa and then chia. Farm S6, on the other hand, is a conventional arable farm that historically produced sugar beets. From 2016 onwards, the farmers start looking for contracts in order to diversify their rotations as well: they start growing first potatoes, then different crops for seed production.

In the Marches, the two farms corresponding to type 2 are also very different from each other. Farm I4 is a 12 ha farm, previously in agricultural decline, where a couple of farmers started working as a secondary activity in 2018. They do not grow majority crops (durum wheat or sunflower) but test one or two new diversified cash crops each year in order to progressively learn to manage them: oats, barley, then buckwheat and lentil. Farm I14 is more characteristic of type 2, with a durum wheat - sunflower rotation at the beginning of the trajectory, then the progressive addition of legumes to lengthen the crop rotation in the search for a higher sustainability. The trajectory of this farm is described in detail in the box below.

> Example of type 2 trajectory: Farm I14

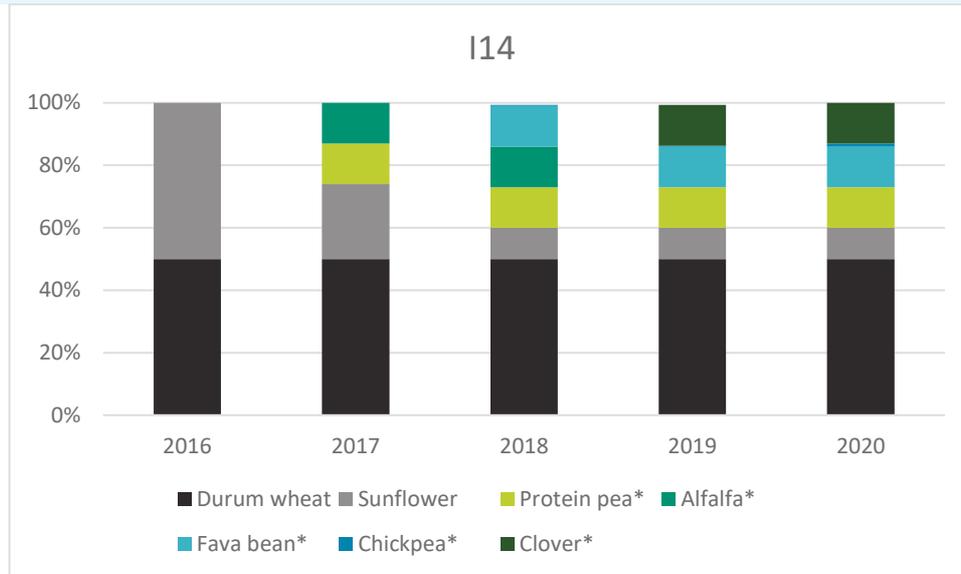


Figure 9: Evolution of the crop rotation of farm I14 (surface area of each crop in % of the cropping area)

*diversified cash crop

Farm I14 is a 570-ha cereal farm whose main production is durum wheat and durum wheat pasta, manufactured in the on-farm processing unit (which processes 100% of the farm's durum wheat production). In the 2000s and until 2016, the farm had a sunflower-durum wheat cropping system. The farmer was satisfied with the performance of this system but anticipated that such a short rotation cropping system would not be sustainable. And indeed, he has recently observed problems such as a reduction of soil fertility, increasing weed pressure, and declining yields in the area. In 2017, the farmer partnered with an agronomist who has taken charge of crop management and of the introduction of alternatives to sunflower. They have sought to increase the level of organic matter in the soil, improve soil structure, and to decrease weed pressure, while maintaining economic profitability. For this purpose, they have, among other things, introduced legume crops. The farmers do not consider legume crops as economically attractive in themselves, but as an investment that should have beneficial effects by the end of a 5 to 6-year period. The farmers introduced the new crops one at a time so as to be able to test them and learn to master them as they went along. The first crop introduced was protein peas in 2017, followed by fava beans in 2018 and clover in 2019. All three crops are produced under contract with a seed production company. Local references on these crops are provided by the seed company and supplemented through discussions with other producers in the area. Chickpeas were then introduced in 2020, on about 1% of the total cropping area, and are produced under contract with a canning company. Alfalfa was also tested in 2018 and 2019 and was sold as a standing crop to breeders. It is considered by farmers as the "perfect crop" but would normally have to stay on one plot for 5 years and would therefore take up too much space. The farmers also want to introduce a brassica crop in order to increase the phytoavailability of sulphur in the soil. A rapeseed crop was tested in 2019, but the farmers consider that this crop is too sensitive to weeds, insects and fungi and that it is therefore not sustainable. They are currently testing mustard as a cover crop and hope to find an outlet for this crop.

Example of type 2 trajectory: Farm F4

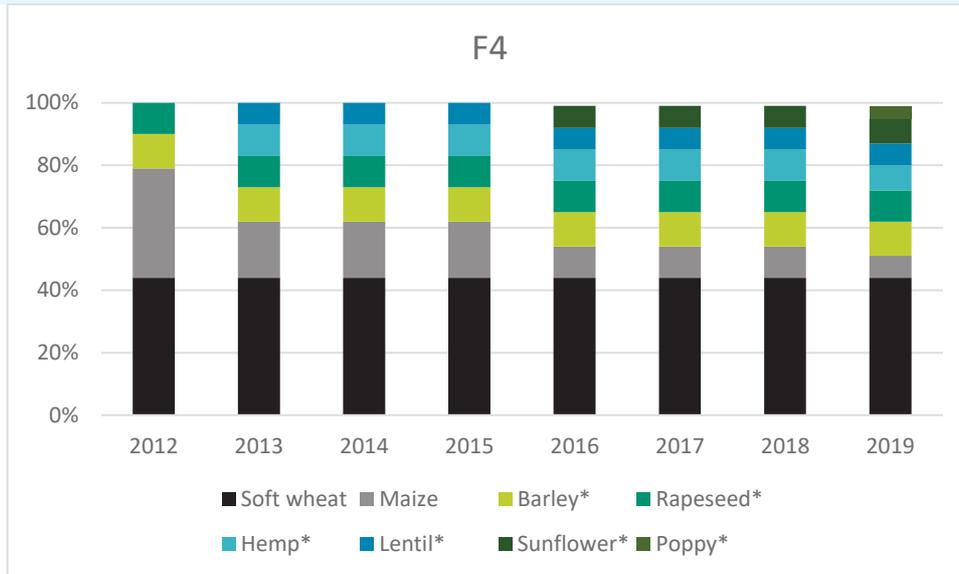


Figure 10: Evolution of the crop rotation of farm F4 (surface area of each crop in % of the cropping area)

*diversified cash crop

Farm F4 is a mixed crop-livestock farm with 2 battery-breeding operations (rabbits and chickens) and a lactating ewe breeding operation. The crops grown on the farm were stable in the 1990s and 2000s until 2012; they included soft wheat, maize, barley and rape. Around 2012, the farmer became interested in an environmental certification that was being created. To obtain this certification, he needed to reduce the amount of plant protection products he used on the farm. Straw cereals and rapeseed for seed production were priority crops in his cropping system, which caused him to use large amounts of plant protection products. The farmer then decided to partly replace maize with crops that required little chemical treatment. The farmer is very involved in the local cooperative and has, for 20 years, been working with the latter, exclusively under production contracts (except for maize) that are signed before seeding. He has therefore gradually introduced diversification crops for which the cooperative offered contracts: first hemp and lentils, then sunflower, and finally poppy. The farmer receives advice from a specialized technician of the cooperative for the most complex operations on these crops. The diversification crops the farmer has introduced have helped him to reduce the average phytosanitary and fertilizing inputs in the cropping system (without necessarily reducing the amounts he uses on his majority crops). They also improve the soil structure (very clayey in some parcels) and have allowed the farmer to progressively stop ploughing before planting wheat. The farmer wishes to keep a diversity of crops in order to spread the economic risks.

3.3.3 Type 3: Strong increase in the number of crops

Diversification trajectory

Type 3 corresponds to diversification trajectories in which the pace of introduction and the number of new crops introduced by farmers into their system are significantly higher than in the other two types: the number of crops increased from 3 to 10.3 on average, including 7.3 diversified cash crops representing 56% of the cultivated area; +1.2 diversified cash crops per year. Farmers test 8.9 crops, on average, during their trajectories. This type of trajectory goes hand in hand with a larger number of discontinuations or reductions if the farmer is not satisfied with the results of the crops he has

tested ("reversals" variable: 3.6 per trajectory on average, compared to 2 for type 2 and 2.6 for type 1). The new crops are often introduced on smaller portions of the cropped area: 7.7% of the area per diversified cash crop on average. But in many cases, one crop is grown on a larger area while the other crops account for less than 5% of the cultivated area. However, these trajectories reflect a higher level of diversity than the other two types, both in terms of the number of crops introduced and of the surface area devoted to diversification crops. Overall, these are the farms, in our sample, which currently display the highest levels of diversity.

Special cases

We identify two "borderline" cases in this type of trajectory. They correspond to farms that have strongly diversified in terms of number of crops and of surface area devoted to diversified crops, but which do not display the highest degree of crop diversity in the sample, because their initial systems were extremely simplified: maize monoculture for F6, and a durum wheat-durum wheat-sunflower system for I2.

Motivations and expectations towards diversification

Like Type 2 farmers, these farmers have agronomic motivations for introducing new crops into their system, and a desire to achieve and maintain a certain level of crop diversity, for they consider that this diversity, in itself, has benefits. On the other hand, unlike Type 2 farmers - for whom security is generally an important factor in their choice of crops (they seek marketing outlets through which they will receive support and will sell sufficient volumes) - type 3 farmers regularly mention that their decisions regarding crop diversification practices are often driven by a desire for autonomy, particularly in decision-making. Thus, they prefer to avoid working with overly regulated and formal supply chains. These farmers also frequently mention that crop diversity is something that makes their work more interesting, and that it is their curiosity for new things that leads them to test many new crops. This desire to try new things is also reflected in their approach to marketing channels.

Resources mobilized to diversify

These farmers experiment with many new crops, but also have to learn about the specifics of these crops' cultivation: in the absence of a structured supply chain that meets their expectations - as in type 2 - they themselves (or in groups of farmers) must develop the knowledge necessary to successfully cultivate those new crops and adapt their cultivation methods to local conditions. They are also often the ones that have to find pre-existing references (on how those crops are cultivated in other regions, other countries...). Some type 3 farmers sell their produce directly to consumers, or through short distribution channels (farmers owned shops, specialized retailers...). Other farmers work directly with processing factories (and avoid intermediary collection and storage organizations, which type 2 farmers commonly work with), which represent better outlets for their produce, in terms of volumes, than short circuits do, as well as other processing possibilities. However, most of those industrial actors have no agronomic expertise: the farmers themselves develop this expertise by experimenting on new crops, which gives them the power to negotiate each party's obligations (concerning, for example, the varieties used, the production quality criteria...) with the processing company. For these farmers, abandoning certain diversification crops in the course of their trajectory is not seen as a failure, but as a normal occurrence in a process whereby they test many things to determine which crops work or not, and correspond or not to their expectations.

Structural characteristics and place of territories

Type 3 is strongly marked by the presence of farms from the Marches (5 out of 9 farms of this type), while farms from Vendée are strongly under-represented (2 out of 9). The average UAA in this type is lower than in the rest of the sample, which can be explained by the fact that the Italian farms are smaller, but also by the slightly smaller average UAAs of the farms in the other two territories in this

type. Similarly, organic farming is more present in this type with 4 farms from the Marches and 1 from Scania (+ 1 mixed farm). The share of livestock farming is similar to that of the rest of the sample.

In Vendée, type 3 includes only 2 farms. Farm F6 started with a monoculture of maize before implementing a diversified rotation in parallel with a conversion to organic farming, in 1998. After a few years of organic farming, the farmer decided to switch back to conventional farming because he felt that an organic production method with a lot of mechanical weeding was not adapted to his soils. He then seeks above all to reduce or suppress tillage, but keeps the same crop rotation scheme in which legumes are included. For the farmer, fava bean and lupin are the two legumes most adapted to his system. He dedicates a significant part of his work time to marketing them. Farm F15 is a conventional mixed crop-livestock farm that evolved from a historical production of beans under the PDO "Mogette de Vendée" typical of the area, to the development of direct sales or sales to wholesale companies for this crop and for an increasingly important range of pulses. At the same time, the farmer is mobilizing personal contacts with the seed industry to develop the production of forage legume seeds.

In Scania, the two farms of type 3 are arable farms in organic farming (S8) and in progressive conversion to organic farming (S4). These conversions are related to the recent installation of new farmers who previously worked and gained experience on other diversified farms. Following their installation, the farmers implemented rapid changes in their systems to introduce a very wide variety of new crops, with a diversity of outlets. These rapid changes were supported by their previous experiences. They are also two farmers whose concerns about their systems overlap, as they seek to implement practices that are as beneficial as possible to soil health. The two farmers know each other and regularly exchange information on these topics.

In the Marches, the 6 farms of type 3, of varying sizes and with contrasting productions, have in common that they have implemented, at least for part of their production and their diversification crops, direct selling systems to market their crops directly to consumers (at the farm, online, via deliveries, etc.). These marketing systems, often developed initially around a small number of crops, lead them to test new crops in order to offer an increasingly wide - and therefore attractive - range of products. Farmers on these farms also work with a variety of downstream actors in order to find outlets representing larger volumes for certain crops. As the longer diversification channels are relatively under-developed in the Marches compared to the other two territories, marketing in short circuits is a means for these farmers to develop outlets for a greater diversity of crops.

> Example of type 2 trajectory: Farm I11

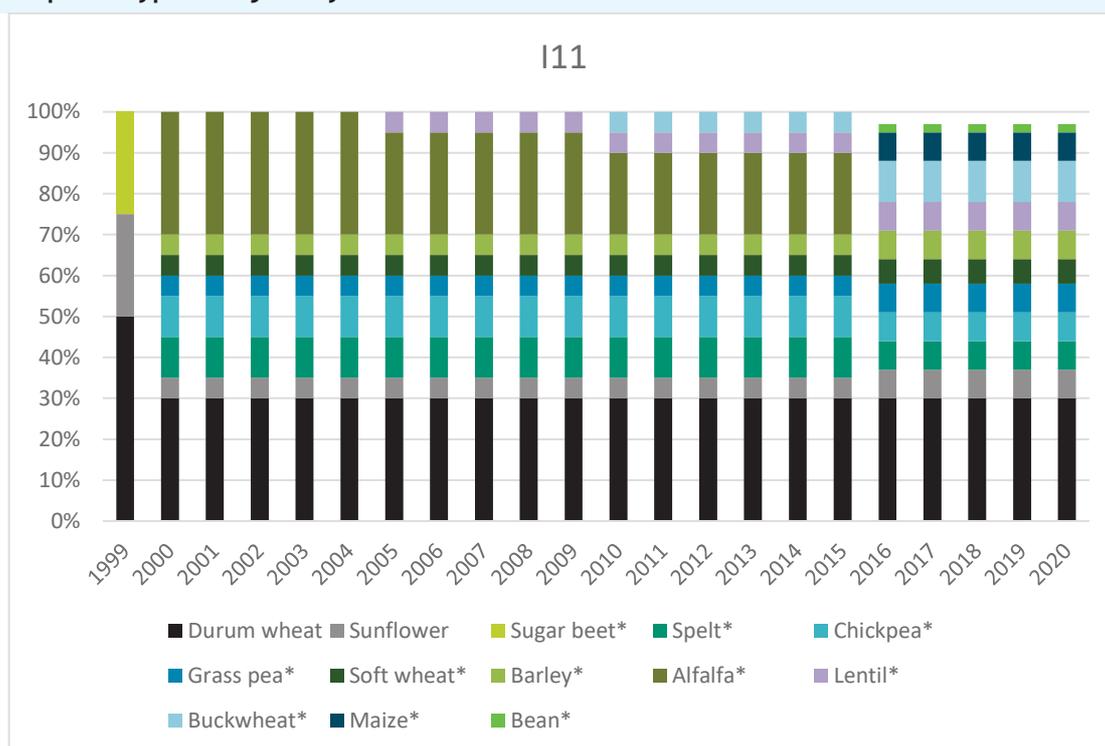


Figure 11: Evolution of the crop rotation of farm I11(surface area of each crop in % of the cropping area)

*diversified cash crop

Farm I11 is a farm growing arable crops (25 ha), vineyards, woods, olive trees and artichokes. Until 1999, the cropping system for arable crops corresponded to the dominant system in the territory, i.e., large scale production of durum wheat, sunflower and sugar beet. From 2000 onwards, the farmers took advantage of incentives to convert to organic farming. They then contacted an organic cooperative to find out which crops the latter was interested in: in addition to durum wheat and sunflower, they were able to obtain contracts for the production of spelt, soft wheat, chickpeas, and barley for roasting. The range of crops - other than straw cereals - purchased by the cooperative was relatively small because they did not have a processing facility. The farmers were also interested in growing grass pea, a crop that was rediscovered in the local area in the 1990s. The organic cooperative was not been able to sell this grass pea crop. Another cooperative was thus created with a few local farmers who wished to product this crop, to develop a label around the crop and to sell it through other channels. The farmers have since then continued to test other crops that they find interesting and which are in demand for human food: lentils in 2005, then buckwheat in 2010. They have had to learn to master these crops by themselves because no other farmer in the area grew these crops at that time. In 2016, the daughter of the farming couple also settled on the farm. Together they developed partnerships with other local farmers who also grew these crops and had the capacity to process them; their objective was to sell their produce directly to consumers and achieve a higher added value. The volumes sold to the cooperative have decreased, and new crops are tested: corn, beans, quinoa. Quinoa was discontinued because the first year of cultivation was a failure without the farmers knowing why.

> Example of type 2 trajectory: Farm S4

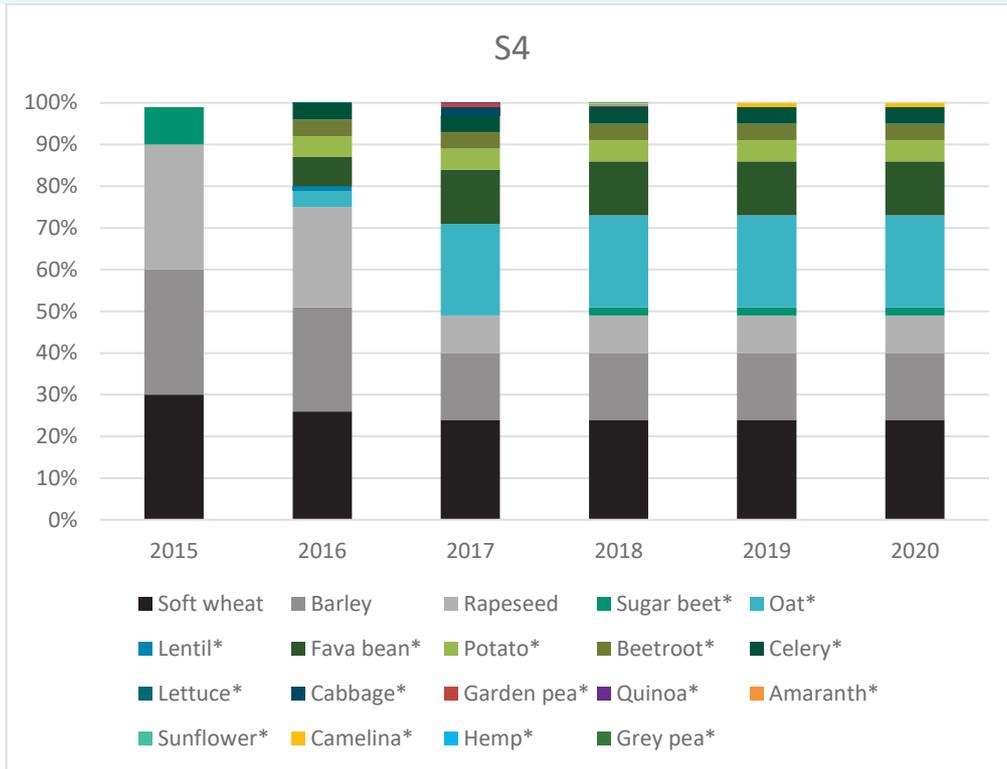


Figure 12: Evolution of the crop rotation of farm S4 (surface area of each crop in % of the cropping area)

*diversified cash crop

Farm S4 is a 275-ha cereal farm. The diversification trajectory began when a farmer's couple set up on the father's farm. The new farmers wished to gradually convert the farm to organic production but also to start producing field vegetables, as the soil was suitable for this type of production and one of the two farmers had previously worked on a farm that grew this type of crop. Growing vegetables also enabled them to create more work - and therefore, jobs - on the farm. The conventional part of the farm first involved a rapeseed-wheat-beet-barley type rotation system, and later, at the beginning of the conversion phase, a rapeseed-wheat-barley rotation system. In the first year of their conversion to organic farming, the farmers introduced new crops on the land parcels in conversion: oats, fava beans, lentils, and 4 vegetables: potatoes, red beets, celery and iceberg lettuce. The cereals and beans are sold to the national cooperative. The vegetables are sold to different processing and wholesale companies which the farmers entered in relation with. The celery and beet are the two main vegetables: the farmers have invested in the machines necessary for the operations involved in the production of these crops. For the potato production, the equipment, the field operations (excluding soil preparation, fertilization and irrigation) and the storage are taken care of by the specialized processing company. The farmers have tested other vegetables over the years and have continued producing them, or not, depending on their performance and the level of investment they require. The farmers are also in contact with a company that specializes in niche crops for human consumption, with whom they are also testing different crops: lentils, quinoa, amaranth, sunflower, camelina, hemp, grey peas... In the long term, they wish to grow more legumes for human consumption, especially in combination with cereals to ensure better yields. They are not looking to further increase crop diversity on the farm but like to try new things.

3.4 Overview of farmers' motivations and expectations regarding crop diversification of a sub-sample of 7 trajectories in Vendée

We have performed an in-depth analysis of 7 Vendean farmers' motivations and expectations with regard to crop diversification (Revoyron et al., 2019). The inductive analysis of the diagnoses farmers make of their system during the diversification trajectories enables us to categorize the farmers' expectations regarding crop diversification into 14 thematic categories related to the functioning of the agroecosystem/agronomy, the functioning of the farm/work, and the socioeconomic context

The farmers mostly expressed their expectations at the scale of a new crop or a pair of consecutive crops (rather than regarding the cropping system as a whole, for example). The analysis highlights a wide variety of expectations (292 "diagnoses" analysed in the seven trajectories), which makes it possible to specify the main motivations behind crop diversification as they are identified in the trajectory typology (3.3.).

Farmers' expectations evolve over the course of the trajectories, as they introduce new crops and gain knowledge about them. The effects of diversification crops, including on the organization of work on the farm, are re-evaluated over the course of the trajectories. The figure below represents the frequency of each thematic category among the 292 diagnoses analysed (the area represented in the graph corresponds to the share of each thematic category among the 292 diagnoses). The farmers' detailed expectations, within the 3 most frequent thematic categories, concern more specifically:

- **Production:** crop yield (25) and its variability/sensitivity to hazards (14); effect of the crop on the following crop's yield (10);
- **Work:** workload associated with the crop (9) and level of management complexity (14); ability to concentrate the work associated with a set of crops over a short period of time, or, on the contrary to distribute the work over a longer period of time (7) and flexibility or constraint levels associated with the crop (8);
- **Markets:** outlet opportunities for the crop (20), real or anticipated; selling price (8) and its variability (6).

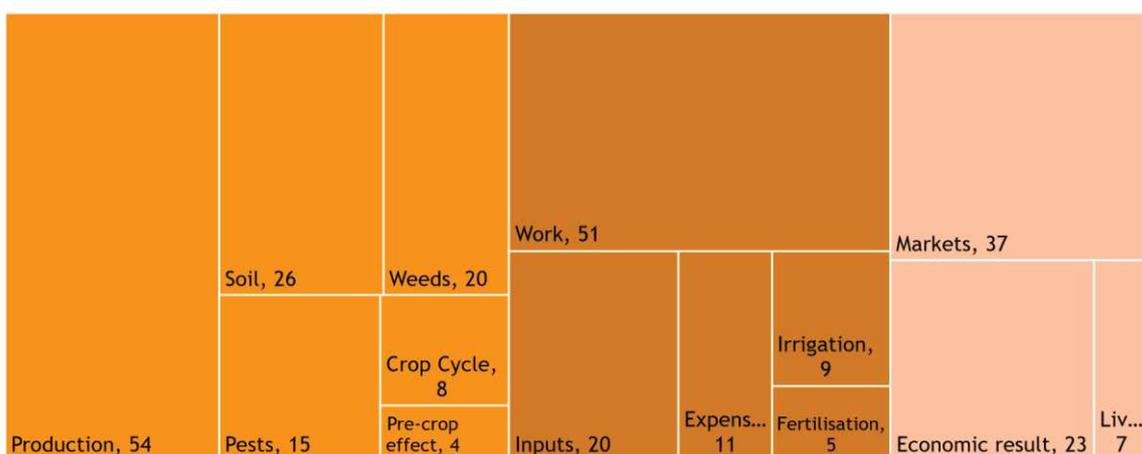


Figure 13: Overview of farmers' motivations and expectations regarding crop diversification over the course of their trajectories

Analysis of 7 farms of the Vendée sample. 292 occurrences. Expens = expenses. Liv = livestock

4. Conclusions

The analysis of the diversification trajectories of these 33 farms shows that beyond the apparent wide variety of diversification dynamics, it is possible to identify a few typical transition paths, or trajectories, taken by the farmers. We have shown that these trajectories are associated with an internal coherence in terms of the motivations behind the crop diversification process, and the resources used by farmers to implement this crop diversification over time - whether they are internal to the farms or come from their economic environment.

It appears, therefore, that the measures that could promote crop diversification on farms need to be conceived in such a way as to ensure that they are coherent with one another, and that different sets of measures will not lead to the same type of crop diversification trajectories. This result is consistent with the conclusions developed in WP5.1 (Morel et al., 2020; DiverIMPACTS deliverable 5.1) regarding the close relation between the type of innovation that actors seek to implement and the obstacles they encounter. Thus, for each type of crop diversification trajectory, one can associate certain types of obstacles with a coherent set of solutions, which vary from one type to another (see also **Table 2** below):

- › **Type 1 farmers** diversify their crops, but do not go so far as to strengthen and sustain this diversification. This is because of the lack of stability in the economic incentives to diversify, and of the weakness of the agronomic incentives (farmers in this type give little consideration to the agronomic benefits of diversification, in particular because they consider that the existing system is efficient in the short term).
- › **Type 2 farmers** diversify their system with a few key crops whose performance is secured through the support and resources provided by the downstream actors buying these crops.
- › **Type 3 farmers** engage in a "strong" diversification process and this is related to their willingness to look for outlets themselves, and even to develop new ones, on the one hand, and to develop the knowledge and expertise regarding the crops they introduce on the other hand.

The types of trajectories identified in this study are not specific to one or the other of the regions studied, even if they might be more typical of one region than the other (Vendée in type 2, the Marches in type 3). The diversification trajectories associated with each of the three territories differ in the way they express each type of trajectory (nature of the diversification crops, organization of the supply chains in particular), but the fact that a farm belongs to one or the other type of trajectory is associated with a functioning and processes of change whose fundamental characteristics transcend geographical situations. These trajectories are not strongly associated with a given production model (organic vs. conventional farming), to the presence or absence of livestock on the farm, or to the size of the farm, even though the farms that diversify the most tend to be shorter and more often organic (this is also due to the fact that most of them are located in Italy).

Finally, the work conducted to identify the key variables through which one can distinguish the different types of crop diversification processes in a given region, makes it possible to suggest different indicators whose monitoring could help to evaluate the effects of incentive policies. Those indicators include: the total number of crops, the level of crop diversity in the rotation; the majority crops in a given region and the percentage of the cultivated area devoted to these crops in relation to the percentage of the area devoted to other crops.

This work is part of a PhD thesis currently ongoing within the DiverIMPACTS programme. In the next months of the project, complementary analyses will be carried out as part of this work, focusing more specifically on the topics of farmers' learning processes during their crop diversification trajectories, and on relationships between farmers' practices and downstream value chains as well as advisory

services around diversification crops. This complementary work should be shared through policy briefs, exchanges with project partners and scientific communications.

Table 3: Synthesis of the solutions mobilised by actors in the 3 types of trajectories to mitigate the obstacles to crop diversification

List of obstacles to crop diversification drawn from Morel et al. (2020); see also DiverIMPACTS deliverable 5.1

Barriers to crop diversification	Solutions for type 1, 2 and 3 crop diversification pathways	Solutions specifically associated with type 2 crop diversification pathways	Solutions specifically associated with type 3 crop diversification pathways
<i>Lack of technical knowledge and references</i>	Mobilisation of knowledge from other regions or other countries, and identification of the references that can be generalised vs. the references that need to be re-assessed locally.	Development of new knowledge on the crop by the organisation that will buy it through field experiments or relying on a network of "pioneer" farmers	Diversification of the farmers' sources of knowledge: colleagues, neighbours, thematic networks at the regional or national scale, ...
<i>Lack of economic knowledge and references</i>	Mobilisation of knowledge from other regions or other countries; trial-and-error by farmers to adapt these references to their systems	Provision of contract proposals and economic references on the new crop to farmers by downstream actors	Development of new value-chains (e.g., direct selling or short chain) by farmers, enabling them to assess their costs and to set their prices
<i>Need of investment for adapted machinery</i>	Adaptation of the existing farm equipment to fit the new crop	Recruitment of external companies who can provide the adapted machine (and often the labour and expertise associated) by the farmers or by the downstream actors	Investments in second-hand machines or adaptation of the existing farm equipment to fit the new crop
<i>Lack of technical knowledge and references about impacts on sustainability</i>	Low attention given to these impacts by farmers	Monitoring of farmers or field experiments to assess the impacts at the farm scale or at the plot scale (often for 2 years: crop + following crop)	Assessment of these impacts by farmers (1-2 impacts depending on their concerns) through observations on their farms (i.e. assessment of an intermediary variable rather than the final impact)
<i>Profitability is low, problematic or uncertain</i>	Tests of the new crop on relatively small areas for the first few years to reduce the risks, but also to assess the crop's performances in diverse climate/year contexts.	Provision of contracts by downstream actors setting guaranteed prices for the crop to smooth the variability in prices over the years; insurance mechanisms for crop failure	Increase of the total number of cash crops on the farm in order to mitigate the risks; reduction of inputs and costs; reduction of the number of intermediaries in the value chain, or internalisation of some of the post-harvest activities (drying, storing, processing...) in order to increase the added value

<i>Lack of technical knowledge about the impact on farming system and design</i>	Identification of good "pre-crop/following crop" associations.	Definition of references on return times for the crops by downstream and extension services actors	Observations of the effects of the new crop on the next crop, and on the state of the environment (often soils and weeds)
<i>Lack of information because of problems with advisory context</i>	Trial-and-error experimentation on the farm	Take-over of advisory activities regarding the new crop by downstream actors	Mobilisation of other knowledge networks, possibly outside of the farm's region
<i>Current situation is still profitable on the short term</i>	Identification of agronomic or economic risks associated with the current systems on the middle- or long-term (e.g., declining yields, sensitivity to droughts or to price variations, ...)		
<i>Constraints in labour organisation (period, volume), mental or physical load</i>	Selection of diversification crops with low work demand or that can help spread the workload over the year; recruitment of service providers for some crop management operations; or on the contrary creation of additional workload and revenue sufficient to hire or associate with someone.		Labour force organisation to manage pre- and post-harvest activities
<i>Lack of adapted plant varieties in the local context</i>	Search for varieties in similar soil and climate contexts; search for old varieties that could be redeveloped	Selection and provision by downstream actors of a limited number of varieties that they consider adapted to the local context	
<i>Need of innovation in machinery for field activities</i>	Partnerships with machinery companies; adaptation of the crop management so that it suits better the available machines (e.g., row spacing)		
<i>Seeds are hard or expensive to get</i>	Seed saving of diversification crops on the farm (often multiplied from the small area where the crop has been tested the first year)	Provision by downstream actors of the seeds (and inputs) that they recommend or require to use for the diversification crop	Diversification of farmers' seed providers to try to lower the prices; or access to seeds through farmer networks (farmers in other regions, etc.)
<i>Farmers' lack of awareness about issues linked to specialisation</i>			Identification of the systemic nature of the problems identified in the farming system (see "Current"); adherence to systemic models

			of farming that involve crop diversification (organic agriculture, soil conservation agriculture)
--	--	--	---

5. Partners involved in the work

This deliverable is based on work from Eva Revoyron (INRAE/ESA), Marianne Le Bail (AgroParisTech), Jean-Marc Meynard (INRAE) and Marie Mawois (ESA) in the scope of WP5.2.

It was made possible by the contributions and help of the CS teams in each region of the study: CS11 in France with Jérémy Berthomier, Emmanuel Mérot and Aline Vandewalle (APCA), CS19 in Sweden with Anita Gunnarsson (HS) and Raj Chongtham (SLU), and CS22 in Italy with Paolo Mucci, Laura Ridolfi (ASR), Marco Seghetti and Luca Colombo (FIRAB).

We would also like to acknowledge the work of Linéa Stolt Hellberg and Delphine Silberbauer who helped in the transcription and translation of some of the farmer interviews and of this report, and Stefano Tavoletti who helped organize and conduct some of the interviews in Italy.

We also thank all the farmers who accepted to share their time and experience during the interviews.

6. Annexes

6.1 References

- Adeux, G., Munier-Jolain, N., Meunier, D., Farcy, P., Carlesi, S., Barberi, P., Cordeau, S., 2019. Diversified grain-based cropping systems provide long-term weed control while limiting herbicide use and yield losses. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 42. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0587-x>
- Altieri, M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74, 19-31. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Blesh, J., Wolf, S.A., 2014. Transitions to agroecological farming systems in the Mississippi River Basin: toward an integrated socioecological analysis. *Agric Hum Values* 31, 621-635. <https://doi.org/10.1007/s10460-014-9517-3>
- Brédart, D., Stassart, P.M., 2017. When farmers learn through dialog with their practices: A proposal for a theory of action for agricultural trajectories. *Journal of Rural Studies* 53, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.04.009>
- Brunori, G., D'Amico, S., Rossi, A., 2019. Chapter 20 - Practices of Sustainable Intensification Farming Models: An Analysis of the Factors Conditioning Their Functioning, Expansion, and Transformative Potential, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 317-333. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00020-0>
- 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>
- Darnhofer, I., Gibbon, D., Dedieu, B., 2012. Farming Systems Research: an approach to inquiry, in: *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer, Dordrecht, pp. 3-31. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_1
- Delecourt, E., Joannon, A., Meynard, J.-M., 2019. Work-related information needed by farmers for changing to sustainable cropping practices. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 28. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0571-5>
- Dupré, M., Michels, T., Le Gal, P.-Y., 2017. Diverse dynamics in agroecological transitions on fruit tree farms. *European Journal of Agronomy* 90, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.07.002>
- 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., 2015. 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>
- Garibaldi, L.A., Pérez-Méndez, N., 2019. Positive outcomes between crop diversity and agricultural employment worldwide. *Ecological Economics* 164, 106358. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106358>
- Grabowski, P., Schmitt Olabisi, L., Adebisi, J., Waldman, K., Richardson, R., Rusinamhodzi, L., Snapp, S., 2019. Assessing adoption potential in a risky environment: The case of perennial pigeonpea. *Agricultural Systems* 171, 89-99. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.01.001>
- IPES Food, 2016. From uniformity to diversity: a paradigm shift from industrial agriculture to diversified agroecological systems (Report). IPES.
- Kremen, C., Iles, A., Bacon, C., 2012. Diversified Farming Systems: An Agroecological, Systems-based Alternative to Modern Industrial Agriculture. *Ecology and Society* 17. <https://doi.org/10.5751/ES-05103-170444>
- Li, J., Huang, L., Zhang, J., Coulter, J.A., Li, L., Gan, Y., 2019. Diversifying crop rotation improves system robustness. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 38. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0584-0>
- Lin, B., 2011. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *BioScience* 61, 183-193. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4>
- 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. *Ecological Economics* 126, 152-162. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.024>
- Mawois, M., Vidal, A., Revoyron, E., Casagrande, M., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., 2019. Transition to legume-based farming systems requires stable outlets, learning, and peer-networking. *Agron. Sustain. Dev.* 39, 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0559-1>
- 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, B., Bos, A.P. (Bram), 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices, in: *Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic*. Springer, Dordrecht, pp. 405-429. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4503-2_18
- Morel, K., Revoyron, E., Cristobal, M.S., Baret, P.V., 2020. Innovating within or outside dominant food systems? Different challenges for contrasting crop diversification strategies in Europe. *PLOS ONE* 15, e0229910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910>
- Peoples, M.B., Hauggaard-Nielsen, H., Huguenin-Elie, O., Jensen, E.S., Justes, E., Williams, M., 2019. Chapter 8 - The Contributions of Legumes to Reducing the Environmental Risk of Agricultural Production, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 123-143. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00008-X>
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., Habib, R., 2011. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32, 273-303. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4>
- Reckling, M., Bergkvist, G., Watson, C.A., Stoddard, F.L., Bachinger, J., 2020. Re-designing organic grain legume cropping systems using systems agronomy. *Eur. J. Agron.* 112, UNSP 125951. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125951>
- Renwick, L.L.R., Bowles, T.M., Deen, W., Gaudin, A.C.M., 2019. Chapter 4 - Potential of Increased Temporal Crop Diversity to Improve Resource Use Efficiencies: Exploiting Water and Nitrogen Linkages, in: Lemaire, G., Carvalho, P.C.D.F., Kronberg, S., Recous, S. (Eds.), *Agroecosystem Diversity*. Academic Press, pp. 55-73. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00004-2>
- Revoyron, E., Le Bail, M., Mawois, M., Meynard, J.-M., 2019. Why and how farmers change their practices towards crop diversification: examples from a case study in France. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3507484>
- Roesch-McNally, G.E., Arbuckle, J.G., Tyndall, J.C., 2018. Barriers to implementing climate resilient agricultural strategies: The case of crop diversification in the US Corn Belt. *Glob. Environ. Change-Human Policy Dimens.* 48, 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.12.002>
- Salembier, C., Elverdin, J.H., Meynard, J.-M., 2015. 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>
- Sebillotte, M., 1990. Systeme de culture, un concept operatoire pour les agronomes., in: *Les Systèmes de Culture*. INRA, Versailles, pp. 165-196.
- Toffolini, Q., Jeuffroy, M.-H., Prost, L., 2016. Indicators used by farmers to design agricultural systems: a survey. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0340-z>
- Weisberger, D., Nichols, V., Liebman, M., 2019. Does diversifying crop rotations suppress weeds? A meta-analysis. *PLOS ONE* 14, e0219847. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219847>
- Yvoz, S., Petit, S., Biju-Duval, L., Cordeau, S., 2020. A framework to type crop management strategies within a production situation to improve the comprehension of weed communities. *European Journal of Agronomy* 115, 126009. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126009>
- Zander, P., Amjath-Babu, T.S., Preissel, S., Reckling, M., Bues, A., Schläfke, N., Kuhlman, T., Bachinger, J., Uthes, S., Stoddard, F., Murphy-Bokern, D., Watson, C., 2016. Grain legume decline and potential

6.2 Interview guidelines

The interviews' objective was first and foremost to make the farmers describe the history of crop diversification on their farms, and to understand how and why their cropping plans evolved. The questions below were not asked systematically but used when necessary, in order to move the discussion forward and as a way to check, toward the end of the interview, that a list of topics identified in the literature had been at least mentioned.

Short introduction:

- Who I am, the research project
- Objectives and structure of the interview
- Ask consent for recording and anonymous use of data

General data about the farm:

- Utilized Agricultural Area?
- Who works on the farm? (number of people, labor units)
- Current productions?
- Average share of market crops in the revenue?

Outlines of the current cropping systems:

- List of crops for the current season and their areas (including forage crops and cover crops)?
- On which plots / soil types are they placed? With which crop rotations?
- Outlets for the crops (internal or external to the farm)?
- Other possible or occasional crops? Crops that have been abandoned?

Based on these elements, we will focus on the **diversification crops** present on the farm, that is on crops other than [to be adapted to each region].

The objective is to make the farmer explain the setting up of these crops, from the decision to introduce these crops or to diversify, until today.

Possible questions to launch the discussion:

- How long have these crops been cultivated?
- What were the main crops and productions at this time?
- What objectives or problems led you to change?
- Why and how did this solution or idea present itself?
- What was done, concretely, the year when this crop was introduced?

- What did that change in the functioning of the farm?
- What helped, or instead posed a challenge, for the implementation of these changes?
- What practices were reproduced, modified, stopped? Why?

Along the discussion, make the farmer spell out how these changes were linked together, what difficulties they encountered, and the resources they mobilized (to overcome these difficulties).

⇒ *See question grid below for questions that can help to move the discussion forward or get more precisions on the diversification process.*

Question grid:

For the different steps of the diversification process and the different crops:

Cropping plan and crop rotations

- What was the global crop plan on the farm (including forage and cover crops)?
- On which plots was the crop positioned (type of soils? ...) with which consequences?
- In which crop rotations was the crop included?
- Which crop did it replace?

Decisional aspect of the process

- Trigger phase:
 - What gave you the idea to cultivate...? When did you hear about it for the first time?
 - Why did you decide to change (to answer what objectives, problems...)?
 - How did you decide about the crops and techniques to implement?
 - What other crops could you have chosen?
 - What did you know about this crop before you introduced it?
- Assessment of the changes implemented:
 - What were the satisfaction criteria?
 - What indicators did you use to monitor and adapt the new practices? To check that the satisfaction criteria were met?

- Did the satisfaction criteria, the objectives, evolve? Why?

Role of knowledge and learning

- Information and references necessary:
 - What did you try to learn before implementing the change?
 - How did you get answers? (Discussions with farmers? Advisors? Press or internet? Personal experiments?)
 - Did you use some knowledge and know-how from other crops?
 - What challenges did you face? How did you overcome them? With who?
 - Today, what have you learned about this crop? If you had to cultivate it on your own...?

If it exists, ask to see the written supports for advice (including practice recordings if they are relevant for crop diversification).

- Exchanges with peers:
 - What types of exchanges? Informal discussions? Farmer groups? Online discussions?
 - What did they provide?
- Advisory services:
 - Which organizations and advisors were solicited?
 - Individual or group advice?
 - Strategic or technical advice?
 - During which season, in which contexts? (before or during the growing season? Farm visits? Experiment visits? Contribution from experts? Group discussions?)
 - What did they provide?
- Other information sources: press...
- Experiments:
 - What were the objectives of the experiment? Link with previous experiments?
 - Which spatial scale?
 - What modalities?
 - What information / observations were collected during the experiment?
 - What were the results, how were they interpreted and what consequences did they have on the diversification process? Where the objectives met?

Role of marketing strategies

- What are the farmer's expectations for marketing the crop?
- Outlets:
 - Who are the buyers? Where are they located? How do they use the crop?
- Coordination with downstream actors:

- What type of contracts and price systems? Expected selling price?
- What are the requirements and specifications (varieties, technical management, quality)?
- Is there monitoring and control during the cropping season?
- Infrastructures for harvesting, collection, storage:
 - Who takes care of harvesting, collection and storage?
 - Are there post-harvest operations done on the farm (storing, processing)?

Role of productive resources

- Land
 - Was the crop introduction facilitated by an increase in the agricultural area? If not, what crops were replaced? On which plots?
 - Were there some plot choice constraints associated with the crop (decided by the farmer or by downstream)? Did they evolve since the crop was introduced? Was the crop a solution to “valorize” better some specific plots?
 - Is there a specific return time for the crop? Was this a problem, or can it become a problem?
- Material and equipment
 - Was there a need to invest in new material (including for storing or processing), or to adapt existing material?
 - If yes, how was it possible to make these investments? Were new knowledge and skills necessary? Was the material owned by the farmer, shared with others, or owned by a company?
- Labor
 - Did the crop require to modify the total labor (hiring new workers or contractors, or on the contrary reducing the labor)? Was it enabled or triggered by a change in the labor (new associate, new employee, associate or employee leaving or retiring...)?
 - Did the new crop modify each worker’s activities? Did it compete with other activities on the farm (other crops, livestock care...) or outside the farm?
 - Who takes the decisions regarding this crop? Who is involved in its management?
 - How is the crop monitored, observed during the season?
 - Did the crop management require new skills? Training?
- Inputs (including seeds)
 - What varieties were used and why?
 - Were other inputs necessary?
 - Where were they bought? Was it difficult to find these inputs/seeds? If yes, how was it solved?

- Economics
 - What were the financial expectations regarding the crop? How were they assessed? Were they met? How did it affect the diversification process?
 - Was the crop subsidized?
 - Did it enable the farmers to access other specific subsidies (e.g. ecological focus areas, agri-environment measure...)?

6 REPORT. ADDRESSING BARRIERS TO CROP DIVERSIFICATION: KEY ELEMENTS OF SOLUTIONS IDENTIFIED ACROSS 25 CASE STUDIES

DiverIMPACTS

Diversification through Rotation, Intercropping, Multiple cropping, Promoted with Actors and value-Chains Towards Sustainability

Report

Addressing barriers to crop diversification: key elements of solutions identified across 25 case studies

Work package: 5

Work package leader: Philippe Baret (UCLouvain)

Report leader: Clémentine Antier (UCLouvain)

Authors: Amrom Caroline¹, Antier Clémentine¹, Baret Philippe¹, Courtois Anne-Maud¹, Farès M'hand², Hartmann Perrine³, Keiner Mathilde³, Le Bail Marianne², Mamine Fateh², Marette Stephan², Revoyron Eva², Roiseux Olivier⁴, Softic Adi⁵, Sukkel Wijnand⁶, Van der Voort Marcel⁶.

¹UCLouvain; ²INRAE; ³Agrosolutions; ⁴Walagri; ⁵Baertschi; ⁶Wageningen University & Research.

Version: 12th of May 2021

This report is part of a project that has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 727482.	
Dissemination Level	
PU Public	x
CI Classified, as referred to Commission Decision 2001/844/EC	
CO Confidential, only for members of the consortium (including the Commission Services)	

Research and Innovation action: GA no. 727482

Start date of the project: June 1st, 2017

Table of contents

Introduction	3
1. Solutions identified by a group of experts for addressing the barriers to crop diversification	4
1.1 Preamble: list of the barriers to crop diversification	4
1.2 Solutions for addressing barriers at the farm level.....	5
1.3 Solutions for addressing barriers at the downstream operations level.....	22
1.4 Solutions for addressing barriers at the market level.....	32
1.5 Solutions for addressing barriers at the coordination level.....	35
2. Actors to be involved in the implementation of the solutions: an overview	43
3. Conclusion and recommendations.....	43
4. Partners involved in the work	44
5. References.....	44

Introduction

Crop diversification is recognised as a central strategy towards improved productivity, delivery of ecosystem services and higher resilience of cropping systems. Crop diversification thus can help reaching the EU environmental sustainability targets.

Although multiple benefits of crop diversification have been proven, the development of diversified cropping systems is still limited. In this context, a detailed analysis of barriers to crop diversification was undertaken based on the analysis of DiverIMPACTS' 25 case studies¹, participatory workshops and a literature review. In total, 46 barriers to crop diversification were identified. Barriers occur at different levels: at the farm level; from harvest to retail; at the market level; and in the coordination between value chain actors (Morel et al., 2020). Following-up on this exhaustive identification of barriers, DiverIMPACTS WP5's team gathered their expertise for identifying direct solutions addressing the barriers.

The hereby report provides the solutions identified for the barriers to diversification at each level of the value chain and further discuss the conditions for enabling shifts towards more sustainable food systems.

Chapter 1 highlights the strategic axis and concrete solutions identified for addressing each barrier². Chapter 2 offers an identification of the actors to be involved in the implementation of each solution. Finally, recommendations are provided regarding the implementation of solutions in an effective way.

¹ More information on the DiverIMPACTS case studies is available at <https://www.diverimpacts.net/case-studies.html>.

² Barriers are described based on (Morel, et al, 2020) including the definition of the barrier and the identification of the context in which it has been encountered i.e. in niches, mainstream value chains or in farmers' innovation networks: three crop diversification innovation settings were identified by (Morel, et al, 2020): "W" stands for "Within the system", "O" for "Outside of the system" and "H" for "Playing horizontal".

1. Solutions identified by a group of experts for addressing the barriers to crop diversification

1.1 Preamble: list of the barriers to crop diversification

Table 1: Barriers to crop diversification at the different levels of supply chains (Morel *et al.*, 2020).

Stage	Barrier description	Barrier code
Agricultural production	Lack of technical knowledge and references	K_Tec
	Lack of economic knowledge and references	K_Eco
	Need of investment for adapted machinery	Machin_Invest
	Lack of technical knowledge and references about impacts on sustainability	K_Sustain
	Profitability is low, problematic or uncertain	Profit
	Uncertainties, risks and variability of agronomic performances	Uncert_Perf
	Lack of technical knowledge about the impact on farming system and design	K_Syst
	Lack of information because of problems with advisory context	Advice
	Current situation is still profitable on the short term	Current
	Constraints in labor organization (period, volume), mental or physical load	Work
	Barriers related to CAP*, environmental or sanitary regulations	Reg
	Lack of adapted plant varieties in the local context	Varieties
	Need of innovation in machinery for field activities	Machin_Innov
	Low agronomic performances (yield, quality)	Perf
	Increased complexity for management and decision-making	Complex
	Cultural barriers, confrontation with farming practices of parent's generation	Trad
	Cognitive frame and ways of thinking need to be changed	Cogni
	Seeds are hard or expensive to get	Seeds
Farmers' lack of awareness about issues linked to specialization	Awar_Farm	
Lack of available or adapted phytosanitary solutions	Phyto	
From harvest to retail	Volumes are too limited in a given area to be profitably or easily collected	Coll_Vol
	Equipment for screening, cleaning, drying or storing requires investment	Pre_ProInvest
	Equipment for processing requires investment	Process_Invest
	Competition on the global market with crops produced cheaper elsewhere	Compet
	Equipment for screening requires investment	Screen_Invest
	Equipment for processing requires innovation	Process_Innov
	Regulations issues around sanitary, quality and purity aspects	Qualsan
	Equipment for cleaning, drying or storing requires innovation	Pre_ProInnov
	Administrative, fiscal or accounting issues	Admin
	Equipment for screening requires innovation	Screen_Innov
	Traders are reluctant to support solutions which may reduce inputs that they sell	Input
Dealing with diversification products brings higher costs	Cost	
Market	Need to raise consumer's awareness or bad visibility of diversification benefits	Awar_Comm
	Uncertain or unstable market	Uncert_Mark
	No pre-existing or very limited market	Exist_Mark
	Doubts about willingness of consumers to pay more for diversification products	Willing
Coordination between value chain actors	No ensured and/or fair sharing of added value between actors	Price
	No ensured or limited volumes to buy/sell products or establish secure contracts	Quant
	Duration of contracts not enough to secure farmers in taking risks and investing	Dura
	Limited or no cooperation between innovative farmers	Orga
	Individualistic mentality and lack of trust between farmers limit collective action	Indiv
	Unbalanced power in bargaining between farmers and traders	Power
	Finding suitable contracts to address issues related to variability in production	Variab
	Lack of communication between value chain actors	Comm
	No ensured quality of products to be bought, sold or to establish secure contracts	Qual
No ensured reciprocal benefits in partnership (especially for land arrangements)	Benef	

1.2 Solutions for addressing barriers at the farm level

At the farm level, a total of twenty barriers to crop diversification were identified by Morel *et al* (2020). Those barriers encompass a wide range of dimensions, ranging from technical to behavioural aspects as well as profitability matters and adequacy with regulations (Table 1).

1.2.1 Barrier « Lack of technical knowledge and references » (K_Tec)

1.2.1.1 Barrier description

This barrier highlights farmers' lack of knowledge and references for the technical implementation of new farming practices. As an example, farmers may need further technical references for stabilizing or increasing the yields of minor crops they newly grow.

It is a transversal barrier found both in mainstream and niches value chains. It was identified in 21 of the 25 case studies (Morel *et al.* 2020).

1.2.1.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. developing further knowledge through experimentation**, and **b. strengthening access to, or distribution of, knowledge to actors** (Figure 1). These solutions apply both to conventional and organic farming contexts.



Figure 1 : Key elements of solutions to the K_Tec barrier.

The objective of developing further knowledge (a) can be implemented through:

- › Experimentation and identification of technical solutions by farmers (individually or as a group);
- › Field experiments and development of complementary knowledge on a specific crop by the organization that will buy it (downstream actors), relying on research institutes or/and networks of "pioneer" farmers.

The objective of strengthening the access to, and distribution of knowledge to actors (b) can be pursued through trainings, etc.:

- › Farmers' sources of knowledge may usefully be diversified, extending usual knowledge channels to colleagues, neighbours, thematic networks at the regional or national scale, farmers or advisors from other regions or other countries.
- › Farmer-to-farmer knowledge exchange is seen as a highly efficient way to diffuse knowledge & practical experience.
- › In addition, training programs in high schools and agronomic schools focusing on crop diversification and innovative crops should be strengthened. Farmers' trainings could also be

developed in collaboration with professional agricultural organizations and value chain stakeholders.

- › Knowledge sharing can also take place within new value chains.

A special attention should be paid to differentiating between universal and local references, i.e. references that can be generalized vs. references that need to be re-assessed locally.

1.2.2 Barrier « Lack of economic knowledge and references » (K_Eco)

1.2.2.1 Barrier description

This barrier highlights farmers' lack of economic references on diversification practices.

In particular, the economic cost and benefits of strip cropping and intercropping practices are not clearly assessed yet.

The lack of economic references also applies to the collaboration between farmers. As an example, a farmer may be interested in adding a winter cover crop to the farm rotation but may not know how to make it profitable; letting the neighbour's sheep graze his winter cover crops can be an option, but the advantages and risks of this practice have to be assessed³.

This barrier was identified in 16 of the 25 case studies.

1.2.2.2 Key elements of solutions

Two main types of solution were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. developing further knowledge and references**, and **b. strengthening access to, and distribution of knowledge** (Figure 2).

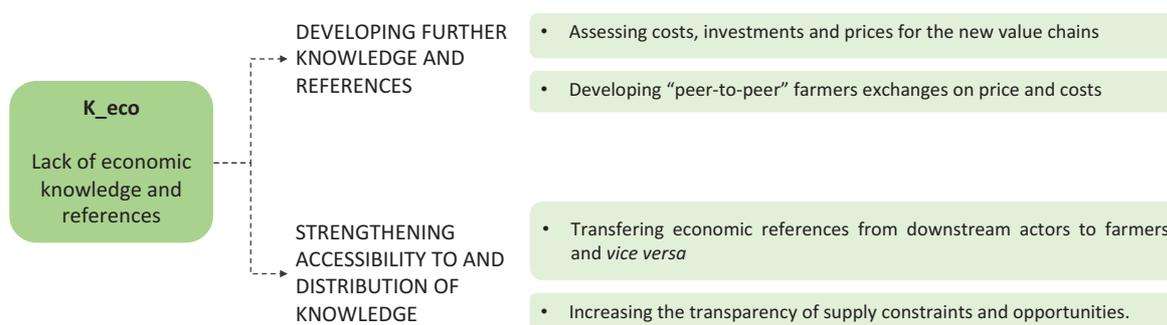


Figure 2: Key elements of solutions to the K_Eco barrier.

The objective of developing further economic knowledge and references (a) can be reached through:

- › A comprehensive assessment of the costs, investments and prices in the new value chains;
- › The facilitation of farmers-to-farmers exchanges on prices and costs.

Strengthening accessibility/distribution of knowledge (b) can be implemented through:

- › The transfer of economic references from downstream actors to farmers (and *vice versa*) through collaboration, contracts and negotiation;
- › Increasing the visibility of supply constraints and opportunities (both in terms of quantity and quality) with a specific attention to price-related information.

³ i.e. how much the sheep grazing would increase plot's fertility, thereby reducing fertilization costs? Would the sheep let the field in a good state for the farmer to sow a new crop in spring, without having to spend time and money on field preparation?

1.2.3 Barrier « Need of investment for adapted machinery » (Machin_Invest)

1.2.3.1 Barrier description

This barrier highlights farmers' challenge to invest in farming machinery for specific cropping operations such as weeding in new crops, sowing and/or harvesting intercrops, etc.

This barrier was identified in 13 of the 25 case studies. It applies both to small-scale production (where the financial resources for investing in new machinery are limited) and larger farms (where large investment in mainstream machinery are already organised and the return-on-investment for innovative machinery and practice might not be competitive with the major crops).

1.2.3.2 Key elements of solutions

Two types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. limiting the investment costs**, and **b. securing the demand** (Figure 3).



Figure 3 : Key elements of solutions to the Machin_Invest barrier.

The objective of limiting or lowering the investment costs (a) can be pursued through:

- › Promoting the acquisition of second-hand machines instead of new machines;
- › Encouraging co-investment in adapted machinery by a group of farmers who will organize themselves to share the equipment;
- › Supporting the adaptation of the existing equipment to fit the new crop;
- › Renting machines to other actors (farmers' network or companies) who can provide the adapted machinery (and often the labor and related expertise);
- › Adapting capital expenses (investment) to the area to be cropped and volumes to be produced.

The objective of securing the demand (b) can be implemented through:

- › Guaranteeing sufficient market outcomes.

1.2.4 Barrier « Lack of technical knowledge and references about impacts on sustainability » (K_Sustain)

1.2.4.1 Barrier description

This barrier highlights farmers' lack of knowledge and references about the impact of new practices in terms of sustainability.

It is a barrier found in the 'changing from within' context (i.e. in conventional farming context), as to convince farmers within the dominant food systems to switch to more agroecological systems, there needs to be more available knowledge and references proving the potential benefits of crop diversification for the sustainability of their farm. On the other hand, the absence of this barrier is linked to the 'building outside' setting (i.e. in organic farming context) since farmers involved in alternative approaches are generally well aware and convinced of the benefits of crop diversification on sustainability. It was identified in 12 of the 25 case studies.

1.2.4.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a.** developing further knowledge through monitoring and experimentation, and **b.** strengthening accessibility/distribution of knowledge to actors (Figure 4).



Figure 4 : Key elements of solutions to the K_Sustain barrier.

The objective of developing further knowledge (a) can be implemented through:

- › Field experiments for assessing the impacts of new crops/practices in terms of sustainability;
- › The monitoring by farmers of the impacts at the farm or plot scale.

The objective of strengthening accessibility/distribution of knowledge (b) can be pursued through:

- › Information on assessment tools⁴ and knowledge regarding the impacts of new crops/practices on sustainability by public organisations, research and advisory institutes;
- › The labelling of products with high ecological value, highlighting their sustainability benefits;
- › Training programs for farmers about sustainability indicators they could follow on their farm and sustainable practices to implement.

Efforts should be made to ensure adequate recognition of relevant references by the consumers, retailers and industries.

⁴ E.g. Systerre.

1.2.5 Barrier « Profitability is low, problematic or uncertain » (Profit)

1.2.5.1 Barrier description

This barrier highlights farmers' uncertainties about the profitability of diversification practices. This barrier was identified in 11 of the 25 case studies.

1.2.5.2 Key elements of solutions

Three types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge:

a. dealing with the low or uncertain agronomic performance of the new crop; b. relying on the farm-level resilience, and c. relying on innovative value chains (Figure 5).



Figure 5: Key elements of solutions to the Profit Barrier.

The objective of dealing with the low or uncertain agronomic performance of the new crop (a) is detailed in the barrier “Uncert_Perf” (see below).

The objective of relying on the farm-level resilience (b) can be pursued e.g. through an increase in the total number of crops on the farm, in order to mitigate the risks.

The objective of better organizing downstream steps (c) can be pursued through:

- The internalization of some of the post-harvest activities (drying, storing, processing...) in order to increase the added value;
- The setting of fair pricing mechanisms;
- The elaboration of contracts that take into account the variability of the production while providing sufficient added-value⁵.

It is worth noting that conventional farmers are well-embedded in their production systems and practices within which the use of inputs is central (and thus some of the advantages of crop diversification related to soil fertility are not directly needed). As, for the moment, the price of inputs

⁵ In some contexts, contracts with flexible duration are seen as an advantage, while in other contexts they are seen as a limiting factor. Similarly, a flexible pricing system may help to overcome some of the uncertainty related to the profitability of crop diversification products; while in other contexts a fixed price might be preferred. Further research is being undertaken in the context of DiverIMPACTS regarding contracts and pricing mechanisms.

is relatively low, they do not perceive the financial benefit of leaving those practices. With a medium to long term perspective, this context could change with two entry points:

- *Increase of inputs price*: as diversification practices as less inputs-dependent, they may enable the farmers to save money on the short (less direct expenses) and long term (increase of soils' richness);
- *Increase of demand*: as sustainable farming systems will be more known and searched for, prices of sustainable products are likely to increase in comparison to conventional agricultural products.

1.2.6 Barrier « Uncertainties, risks and variability of agronomic performances » (Uncert_Perf)

1.2.6.1 Barrier description

This barrier highlights farmers' concern about the low agronomic performances of minor crops. It is a transversal barrier found in 10 of the 25 case studies.

1.2.6.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a.** dealing with the low or uncertain agronomic performance of the new crop, and **b.** improving the agronomic performance of the new crop (Figure 6).

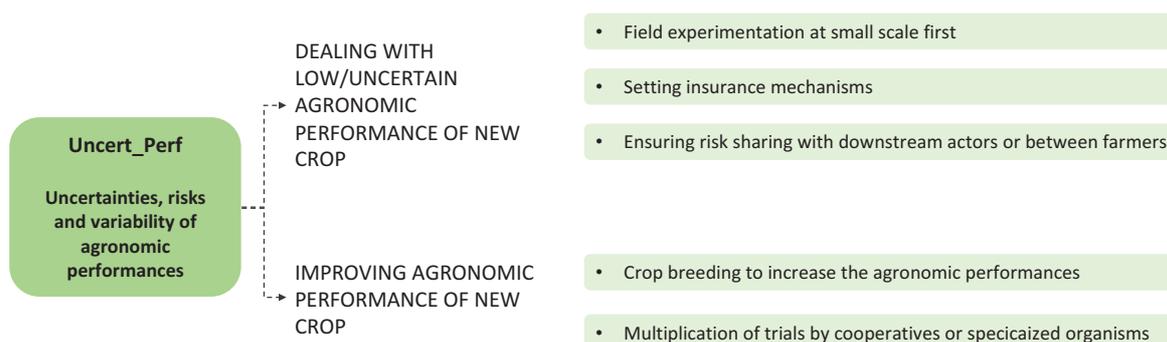


Figure 6 : Key elements of solutions to the Uncert_Perf barrier

The objective of dealing with the low or uncertain agronomic performance of the new crop (a) can be pursued through⁶:

- Starting small i.e. undertaking field experiments of the new crops on relatively small areas for the first few years in order to mitigate the risks and assess the crop's performances in diverse climate/year contexts;
- Developing insurance mechanisms for addressing the risks of crop failure;
- Mechanisms for sharing the risks associated with the variability of production with downstream actors or within farmers' groups.

Improving the agronomic performance of the new crops (b) can be implemented through:

- The organization of crop breeding, led by seed providers or by farmers, in order to increase the agronomic performances of crops along the years;
- More field experiments led by research and technical institutes in order to reduce farmers' misperception of the hazards involved in crop diversification.

⁶ These actions also apply to the previous barrier (*Profit*).

1.2.7 Barrier « Lack of technical knowledge about the impact on farming system and design » (K_syst)

1.2.7.1 Barrier description

This barrier highlights farmers' lack of knowledge and references about how integrating new crops or practices may have impacts at the farming system level.

This barrier is found in both the 'changing from within' and 'building outside' settings. For some conventional farmers, it is indeed quite challenging to develop systemic thinking of longer rotations, and to integrate into their decision making the idea that one new crop could have positive impacts for several years. In the case of farmers involved in alternative approaches, they are generally more familiar with systemic thinking of more complex rotations, but systemic references are still needed regarding the impacts of including new crops or intercropping in rotations. This barrier was identified in 9 of the 25 case studies.

1.2.7.2 Key elements of solutions

Two axis of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. developing further knowledge and references**, and **b. strengthening accessibility/distribution of knowledge to actors** (Figure 7).



Figure 7: Key elements of solution to the K_Syst barrier.

The objective of developing further knowledge (a) can be implemented through:

- › Field experiments and research in order to identify efficient "pre-crop/following crop" combinations.
- › Assessing the short-, medium- and long-term impacts of diversification practices on farming systems;
- › Assessing the effects of specific new crops in the context of crop diversification.

The objective of strengthening the accessibility/distribution of knowledge to actors (b) can be pursued through:

- › The development of "peer-to-peer" farmer learning process;
- › Advice and support by trained instructors, enabling farmers to manage their production and reduce their misperception of the hazards involved in the production of diversification crops.

1.2.8 Barrier « Lack of information because of problems with advisory context » (Advice)

1.2.8.1 Barrier description

This barrier refers to the current advisory context within which most farmers get their technical advice from cooperatives or from traders who both buy their crops and sell them fertilizers and pesticides⁷.

This barrier is encountered in the 'changing from within' setting (i.e. in conventional context), as most agricultural advice given to conventional farmers is delivered by mainstream inputs companies which have no interest or information concerning a multi-year effect of crop diversification. The barrier was identified in 9 of the 25 case studies.

1.2.8.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. rethinking the advisory services to farmers**, and **b. diversifying the sources of advice and knowledge** (Figure 8).



Figure 8: Key elements of solutions to the Advice barrier.

The objective of rethinking the advisory services to farmers (a) can be implemented through:

- › The promotion of trainings for farmers to enable them to analyze, assess and take decisions regarding their own practices;
- › The promotion of collective farmers' peer-to-peer or inter-actors learning processes;
- › The development of new advisory services regarding diversification practices (e.g. independent pr public training institutes, technical expert to be hired by farmers, etc.).

The objective of diversifying the sources of advice and knowledge (b) can be pursued through:

- › The identification of other knowledge networks, possibly outside of their region;
- › The development of specific communication on the existence of different advisory organisms.

⁷ This situation is also to be linked to the fact that, in most EU contexts, the staff from the pesticides/inputs companies remain the (almost) sole ones to visit the farms and discuss with the farmers.

1.2.9 Barrier « Current situation is still profitable on the short term » (Current)

1.2.9.1 Barrier description

This barrier refers to the so far profitable situation of conventional farming versus the alternative farming systems based on crop diversification.

This barrier is found in the 'changing from within' setting (i.e. in mainstream context). It is indeed difficult for farmers to perceive the advantages of adopting crop diversification as their situation is still profitable in the short-term in the current economic and regulatory context⁸.

It was identified in 9 of the 25 case studies.

1.2.9.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. demonstrating the risks associated with current systems**, and **b. demonstrating the benefits associated with innovative practices** (Figure 9).



Figure 9: Key elements of solutions to the *Current* barrier.

The objective of demonstrating the risks associated with current systems (a) can be implemented through:

- › The identification of agronomic and economic risks of conventional systems on the middle-to-long term (eg. declining yields, sensitivity to droughts or to price variations, etc.) through reviews of the literature, research, fields assessments, etc.
- › A specific communication on those risks to increase awareness among all actors.

The objective of demonstrating the benefits associated with innovative practices (b) can be pursued through:

- › The description of the advantages of the innovative practices for the environment and in terms of added value;
- › The communication of good practices and success stories with qualitative and quantitative results.

A special attention should be paid to the case-by-case application of certain innovations. When promoting innovative practices, each practice should be clearly linked to the type of farmer for whom it is the most efficient.

⁸ As mentioned earlier, the low prices of fertilizers and pesticides is a factor to this profitability. The low prices of the inputs are not an incentive to move towards systems with less dependency on external inputs.

1.2.10 Barrier « Constraints in labor organization (period, volume), mental or physical load » (Work)

1.2.10.1 Barrier description

This barrier highlights farmers' concerns about labor organization and workload linked to diversification practices.

This barrier was encountered in the 'playing horizontal' setting, where managing strips or collaborating with livestock farmers requires a shift in the way of thinking about interactions, either at the plot/farm level or between farms. The barrier also applies to crop diversification in general, as new, additional practices have to be implemented and the farm system has to be re-organized with a larger number of crops to manage. It was identified in 9 of the 25 case studies.

1.2.10.2 Key elements of solutions

Three axis of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. adapting the labor force**, **b. reducing workload**, and **c. supporting a change in farmers' habits** (Figure 10).



Figure 10: Key elements of solutions to the Work barrier.

The objective of adapting the labor force (a) can be pursued through:

- › A reorganization of the labor force in order to manage the new pre- and post-crops activities associated with the diversification practices;
- › The hiring of service providers who will take care of some crop management operations;
- › An association with other farmers to hire someone to cover the additional workload.

The objective of reducing the workload (b) can be implemented through:

- › The selection of crops/practices with low work demand and/or crops that allow for the dispersion of the workload over the year.

The objective of supporting a change in farmers' habits (c) can be implemented through:

- › A support to farmers in reshaping their routine and understanding the benefits of diversification over time;
- › Advisory services that put the emphasis on the compensatory 'cost-benefit' effects that farmers can have by adopting diversification crops in the long term.

In general, the additional revenue obtained through the new crops should cover the additional labor cost.

1.2.11 Barriers related to the CAP, environmental or sanitary regulations (Reg)

1.2.11.1 Barrier description

This barrier highlights farmers' difficulties to adopt innovative diversification practices in the current regulatory context.

Farmers activities are already framed by a large number of regulations. Implementing new, additional farming practices can be perceived as a source of further regulatory constraints. Moreover, the Common Agricultural Policy (CAP) framework implies a significant number of administrative tasks for the declaration of different practices. This barrier is therefore associated with the fear of seeing an increase of the number of rules to be followed, and an increase of the associated administrative workload. It was identified in 9 of the 25 case studies.

1.2.11.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: a. developing a supporting policy framework and b. adapting advisory services (Figure 11).

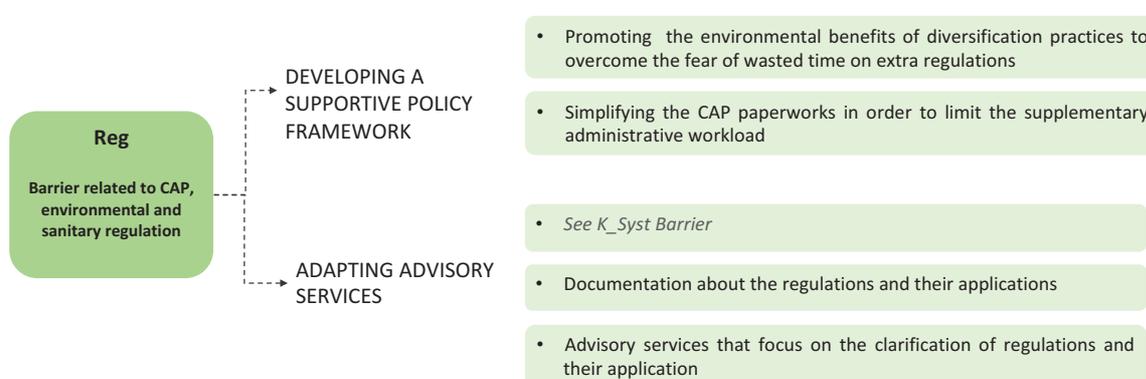


Figure 11: Key elements of solutions to the Reg barrier.

The objective of developing a supporting policy framework (a) can be pursued through:

- › The recognition and promotion of environmental benefits of diversification practices, in order to compensate the time to be spent on extra administrative tasks;
- › The simplification of CAP paperworks in order to limit the regulative and administrative barriers.

The objective of adapted advisory services (b) can be pursued through:

- › The development of documentation about the regulation and how they apply to diversification crops;
- › A focus from the advisory organisms on the clarification of which regulation to apply and how.
- › See also solutions identified to the *Syst* barrier.

1.2.12 Barrier « Lack of adapted plant varieties in the local context » (Varieties)

1.2.12.1 Barrier description

This barrier highlights the lack of varieties of minor crops adapted to local conditions.

It is a transversal barrier. It was identified in 8 of the 25 case studies.

1.2.12.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge:

a. **developing further knowledge**, and b. **facilitating access to known varieties** (Figure 12).



Figure 12: Key elements of solutions to the *Varieties* barrier.

The objective of developing further knowledge (a) can be pursued through additional research to find varieties best adapted to different contexts.

The objective of facilitating access to already known varieties (b) can be supported by inputs providers and advisory organisations, which can provide seeds adapted to the local context and inform farmers about varieties and farming practices.

The development of diversification practices will highly benefit from a greater knowledge about the adapted varieties and species.

1.2.13 Barrier « Need of innovation in machinery for field activities » (Machin_Innov)

1.2.13.1 Barrier description

This barrier highlights the need for farmers to access innovative machinery adapted to crop diversification.

Contrary to the Machin_Invest barrier, Machin_Innov has an impact in the 'changing from within' setting. Indeed, barriers related to farm machinery in the conventional context are presented more as a question of innovation than as a problem of investment.

This barrier was identified in 8 of the 25 case studies.

1.2.13.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge:

a. **co-adapting the crop diversification systems and the existing machinery**, and b. **developing a supporting context** (Figure 13).



Figure 13: Key elements of solutions to the *Machin_Innov* barrier.

The strategy of finding ways to make new crops and the existing machinery fit together (a) can be pursued through:

- › Adaptation of existing machines to suit the new crop and new practices;
- › Choice of the crops and practices in consistency with existing machines (if feasible) and possibilities of on-farm innovation.

The objective of developing a supportive context (b) could be implemented through:

- › The identification of the specific machinery needs related to crop diversification⁹;
- › An active communication towards machinery providers about the innovative machinery needed for crop diversification;
- › Supporting farmers-to-farmers' knowledge and skills sharing about on-farm innovation;
- › Supporting the R&D and marketing of innovative equipment suited for crop diversification.

It is worth noting that a large range of machinery is already existing, and part of the existing machines could be adapted to diversification practices. Moreover, it is needless to say that if the demand were to increase for specific machinery, offer and supply will follow. The industrial sector could therefore play a leading role in overcoming this barrier.

⁹ DiverIMPACTS' D5.4 will provide an assessment of the needs in terms of machinery and guidelines.

1.2.14 Barrier « Low agronomic performances (yield, quality) » (Perf)

1.2.14.1 Barrier description

This barrier highlights the difficulties that farmers might encounter due to the low agronomic performances of innovative crops. It was identified in 8 of the 25 case studies.

1.2.14.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. developing further knowledge and references**, and **b. ensuring adequate pricing of cultivated crops** (Figure 14)



Figure 14: Key elements of solutions to the *Perf* barrier.

The objective of developing further knowledge and references about the crops' performance (a) can be implemented through:

- › Identification of the factors impacting crops performance, in terms of yield and quality, through agronomic research and on-farm assessment;
- › Evaluation of the performance of crops based on economic, social and environmental cost-benefit methods.

The objective of ensuring adequate pricing of new crops (b) can be pursued through:

- › Designing contracts with prices adapted to the crop performance to ensure profitability¹⁰;
- › Setting insurances mechanisms to help overcome low yield situations.

1.2.15 Barrier « Increased complexity for management and decision-making » (Complex)

1.2.15.1 Barrier description

This barrier highlights farmers' fear or actual challenge of increased complexity when dealing with crop diversification.

It is a transversal barrier affecting both conventional and organic systems, as well as the horizontal interactions between farmers. Any change to practices can be perceived as source of complexities and new challenges. It was identified in 8 of the 25 case studies.

¹⁰ DiverIMPACTS' D5.6 will provide insights on contracts design in favor of crop diversification.

1.2.15.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. managing complexity**, and **b. adapting advisory services** (Figure 15).



Figure 15: Key elements of solutions to the *Complex* barrier.

The objective of managing complexity (a) can be pursued through:

- › The development of adapted management tools that take into account diversification practices;
- › Setting advantages to the diversification products (e.g. higher added-value, etc.) in order to compensate the increase in complexity.

The objective of developing advisory services (b) can be pursued through:

- › See “Advice” barrier (*Rethinking the advisory services to farmers*).

1.2.16 Barriers « Cognitive frame and ways of thinking to be changed » (Cogni) & « Cultural barriers, confrontation with practices of parent's generation » (Trad)

1.2.16.1 Barriers description

These two barriers highlight the necessity for, and the difficulties arising from, the changes in farmers' ways of thinking about their farming system and activity. The transition to innovative practices requires cognitive changes.

The “Cogni” barrier refers to the existing cognitive barriers inherent to each individual or communities when faced with change. This cognitive framework can be understood as a complex mix of values, beliefs and perception of risks among other things, that guide one's individual perception, thoughts and actions. When studying cognitive framework, it is crucial to consider the potential influence of one's social environment to understand its barriers to change. This influence may reveal to be even stronger in a sector of tradition and heritage as the agricultural sector.

The “Trad” barrier highlights the difficulty often encountered in farming systems that the farm and farming practices are usually inherited from a parent. Within this configuration any change can be perceived as a critic or a reassessment of what has been done so far. Multi-generation farms testify of the existence of conflicts of vision between generations.

These barriers are encountered in the “playing horizontal” ideal-type (i.e. at the farm level) where progressive change is certainly a source of questions and misperception from neighbours and potentially from individuals on the farm. It was identified in 6 of the 25 case studies.

1.2.16.2 Key elements of solutions

The modification of cognitive frames and ways of thinking depends on a multitude of factors. It would be tricky to establish a list of tasks and actions to implement as performed with the other barriers. Some of the responses brought by DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge imply a progressive resolution of this barrier through time: either through changes brought when a new associate takes over the farm with new ideas, skills, funding, etc., or when a new generation comes in with an interest and awareness of the potential benefits of a change of practices. Additionally, a solution raised was the stimulation of farmers' interest in innovative practices (Figure 16).



Figure 16: Key elements of solutions to the *Cogni* and *Trad* barrier.

This can be pursued through:

- Reducing the misperception of the hazards and challenges involved in the production of diversification crops through advisory, documentation, etc.;
- The integration of alternative farming systems and diversification practices in training and educational programs;
- The development of specific advisory services addressing the *Cogni* and *Trad* barriers.

1.2.17 Barrier « Seeds are hard or expensive to get » (Seeds)

1.2.17.1 Barrier description

This barrier highlights the lack of access to seeds of minor crops adapted to a diversity of local conditions. It was identified in 5 of the 25 case studies.

1.2.17.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. reducing seeds supply cost**, and **b. facilitating access to seeds** (Figure 17). These solutions apply both to conventional and organic farming contexts.



Figure 17: Key elements of solutions to the *Seeds* barrier.

The objective of reducing seeds' supply cost (a) can be implemented through:

- › Collective purchase of larger volume of seeds by farmers' groups or cooperatives;
- › Fostering exchanges of farmer-saved seeds within farmers' networks¹¹;
- › Assessing the profitability by comparing the seeds costs with the total crop added value.

The objective of facilitating the access to seeds (b) can be pursued through:

- › Providing information on the existing seeds supply options;
- › Supporting the development of seeds supply.

1.2.18 Barrier « Farmers' lack of awareness about issues linked to specialization » (Awar_Farm)

1.2.18.1 Barrier description

This barrier refers to farmers lack of awareness about issues linked to simplified/specialized farming systems.

This barrier is found in the 'changing from within' setting, in which farmers are generally not well aware or convinced of sustainability issues around simplified farming systems, or of the benefits they could derive from crop diversification. On the contrary, farmers involved in alternative approaches, such as in the 'building outside' setting, are generally well aware and convinced of the benefits of crop diversification.

It was identified in 5 of the 25 case studies.

1.2.18.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: a. communicating on the issues, and b. demonstrating the benefits of the change (Figure 18).



Figure 18: Key elements of solutions to the *Awar_Farm* barrier.

The objective of communicating on the issues (a) can be implemented through:

- › Identifying the systemic nature of the problems in the farming system;
- › Undertaking multi-criteria evaluation to assess performance according to the economic, social and environmental cost-benefit aspects.

The objective of demonstrating the benefits of a shift towards diversified systems (b) can be pursued through:

¹¹ Farmer-saved seeds are indeed common for diversification crops (often multiplied from the small area where the crop was tested the first year).

- › Promoting farming systems involving crop diversification that proved to be profitable;
- › Fostering “peer-to-peer” farmers’ exchanges about knowledge and practical experience.

1.2.19 Barrier « Lack of available or adapted phytosanitary solutions » (Phyto)

1.2.19.1 Barrier description

This barrier highlights farmers’ concern about the fact that for some new crops, no satisfactory crop protection solutions based on pesticides exist. Such concern arises in the “changing from within” setting involving conventional farmers. This barrier was identified in 3 of the 25 case studies.

1.2.19.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts’ knowledge: **a. developing crop protection alternatives** and **b. mitigating performance loss**.

The objective of developing crop protection alternatives (a) can be implemented through:

- › Experimenting alternative strategies that require less or no use of phytosanitary products (see e.g. intercropping advantages, integrated pest management, etc.);
- › Encouraging research on new bio-products to protect crops;
- › Encouraging further R&D on sustainable mechanical weeding.

The objective of mitigating performance loss (b) can be pursued through the compensation of yield loss with adapted sale price (see contracts options described to address other barriers).



Figure 19: Key elements of solutions to the *Phyto* barrier.

1.3 Solutions for addressing barriers at the downstream operations level

A total of 12 barriers were identified at the downstream operation level (Morel *et al.* 2020). Various barriers relate to the need for further innovation towards equipment that is adapted for processing new crops, and the challenges to fund related investments (Table 1).

1.3.1 Barrier “Volumes are too limited in a given area to be profitably or easily collected” (Coll_Vol)

1.3.1.1 Barrier description

This barrier highlights the inadequacy of existing large-scale systems for collecting and marketing and small volumes produced through the diversification process. The size and specialization of large scale collection systems make them reluctant to collect and store small volumes of (new) crops that innovative farmers may test or seek to develop.

This barrier was identified in 16 of the 25 case studies.

1.3.1.2 Key elements of solution

Three main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. organizing and increasing the production**, **b. re-organizing the collection** and **c. securing long-term commercial relationships** (Figure 20). These solutions apply both to conventional and organic farming contexts.



Figure 20: Key elements of solutions for *Coll_Vol* barrier.

The objective of securing and organizing the production (a) can be implemented through:

- › A well thought geographic repartition of the minor crops to ensure that the production of a given crop is centralized enough;
- › An increase in the number of farmers and of the surface of land dedicated to the new crops.

The objective of re-organizing the crop collection (b) can be implemented through:

- › Supporting farmers' groups in developing small-scale collection and storage capacities;
- › Supporting/relying on other actors who can collect and trade or process small volumes, or collect sufficient volumes through finding sufficient farmers/area of production.

Finally, the objective of securing long-term commercial relationships (c) can be pursued through:

- › The setting up of contracts with grouped commitment of farmers to increase the crop acreage along years (better anticipation of the volumes produced).

A special attention should be paid to the terms of the contracts. Some stakeholders (but not all) underline the necessity of establishing clear contracts in advance, based on fair and transparent prices, and on quantity and quality criteria that cover production and operational costs at all levels of value-chains. Another key aspect in the contracts is to well determine who will be in charge of the storage and transport of the production as losses always happen in those steps and some contracts could put the burden of those activities on the farmers group.

1.3.2 Barrier “Equipment for screening, cleaning, drying or storing requires investment” (Pre_ProInvest)

1.3.2.1 Barrier description

This barrier highlights the fact that the equipment for processing new types of crops requires investments.

If the farmers are developing niche products, the post-harvest steps require a range of equipment which may only be needed for small and irregular volumes of products. The burden of the investment can represent an important barrier.

It is a transversal barrier found both in the 'changing from within' as well as in the 'building outside the regime' setting (i.e. in conventional and organic farming contexts). It was identified in 11 of the 25 case studies.

1.3.2.2 Key elements of solution

Two types of solutions that were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge for making the investment profitable or a non-limiting factor: **a. increasing and diversifying the production** and **b. securing the profitability of the equipment** (Figure 21).

The objective of increasing and diversifying the production (a) can be reached through:

- › An increase in the volume of the crop to be processed;
- › An increase in the number of crops that can be processed with the new equipment.

The objective of securing the profitability of the equipment (b) can be pursued through:

- › Selling processing services to other actors if the equipment is not used at 100% of its capacity;
- › Gathering farmers for collective investment and use;
- › Providing financial support for the purchase of equipment for crop diversification;
- › Contracts for the processed products for securing long term market opportunities;
- › Technical innovation for adding value to the product.



Figure 21: Key elements of solution for *Pre_ProInvest* barrier.

1.3.3 Barrier “Equipment for processing requires investment” (Process_Invest)

1.3.3.1 Barrier description

It is a transversal barrier found across the three innovation settings, in 11 of the 25 case studies. It applies differently in small-scale and mainstream value chains.

In mainstream value chains, the challenge is to secure sufficient volumes for rendering large-scale processing units profitable.

In niche value chains, the main obstacle is to ensure a certain profitability of the investment while the volume of production may be small. (Another obstacle is the identification of appropriate equipment).

1.3.3.2 Key elements of solution

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. limiting the cost of the investment** and **b. securing the profitability of the equipment** (Figure 22).

The objective of limiting the cost of investment (a) can be implemented through:

- For niche value chains, the collective purchase of processing installation is identified as a good way to have an appropriate sizing of the equipment for the amount of products, and thus reaching higher profitability (in regard to the cost/benefit ratio).
- The collective purchase may also allow sharing the organizational and technical skills that would otherwise have to be endorsed by one farm only.

The objective of securing the profitability of the equipment (b) can be pursued through:

- The investment in processing equipment may lead to obtaining contracts that would not be accessible otherwise: the equipment enables new marketing opportunities.
- Attention should be given to the possibility of increasing the number of crops that could be concerned by the new investments.
- The processing services could be sold to other actors if the equipment is not already used at 100% of its capacity;
- The incentive for investment on both sides of the value chain should be guaranteed by a pricing system that ensures a sufficient return on investment for stakeholders.

It is important to note that using a new processing equipment requires the development of new skills as well as extra workload. Those aspects of time and skills should be considered and taken into account in the contracts and pricing mechanisms.



Figure 22: Key elements of solutions to the *Process_Invest* barrier.

1.3.4 Barrier “Competition on the global market with crops produced cheaper elsewhere (for processors or retailers)” (Compet)

1.3.4.1 Barrier description

This barrier highlights the fact that competition is an important limiting factor for diversification. This has proven to be especially present in the composition of feed products where the price of substitutable ingredients on the global market is a dominant criterion, but also in local quality-oriented markets. As new crops often compete on the global market with other or similar crops that

can be produced cheaper elsewhere, it is therefore crucial to guarantee a secure outlet in the future to encourage farmers to “invest in a new crop”.

This barrier was identified in 9 of the 25 case studies.

1.3.4.2 Key Elements of solution

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. differentiating the products** and **b. securing the demand** (Figure 23).



Figure 23: Key elements of solution to the *Compet* barrier.

The objective of differentiating the products (a) can be achieved through:

- Developing specific, high added-value products obtained through crop diversification;
- Communicating on the specificities of the product (its origin, production system, etc.) e.g. through labels.

The objective of securing the demand (b) can be pursued through:

- Securing the market through vertical integration or through contracts with downstream actors;
- Prospecting for niche markets with high added value (e.g. vegetable proteins or foods rich in Omega).
- Managing the price gap between products obtained from crop diversification, high sustainability standards agriculture versus products coming from countries with very low standards (e.g. with an import tax);
- Promoting products from crop diversification in catering.

1.3.5 Barrier “Equipment for separation of crops requires investment” (Separ_Invest)

1.3.5.1 Barrier description

This barrier highlights the difficulty of funding adequate equipment to ensure the separation of crops obtained through intercropping. The barrier was identified in 8 of the 25 case studies.

1.3.5.2 Key elements of solution

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge for addressing the investment challenges: **a. increasing and diversifying the production** and **b. securing the profitability of the equipment** (Figure 24).

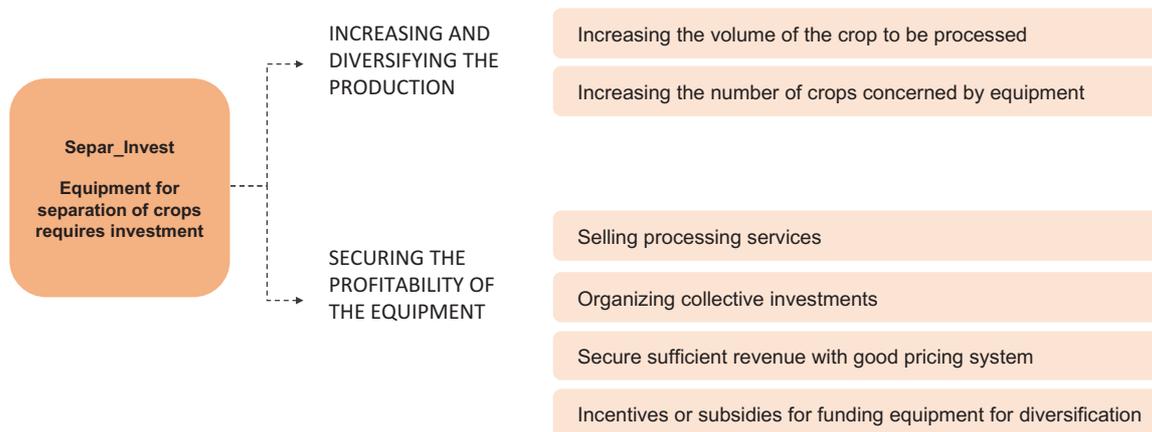


Figure 24: Key elements of solution for the *Separ_Invest* barrier.

The objective of increasing and diversifying the production (a) can be implemented through:

- › An increase in the volume of the crop to be processed;
- › An increase in the number of crops and volumes concerned by the new equipment.

The objective of securing the profitability of the equipment (b) can be pursued through:

- › Selling services to other actors if the equipment is not already used at 100% of its capacity;
- › Gathering farmers interested in the equipment to invest collectively;
- › The incentive for investment on both sides of the value chain should be guaranteed by a pricing system that ensures a sufficient return on investment for stakeholders.
- › The new Green Deal could provide incentives or subsidies for new equipment dedicated to diversification.

1.3.6 Barrier “Equipment for processing requires innovation” (Process_Innov), “Equipment for cleaning, drying or storing requires innovation” (Pre_ProInnov) & Barrier “Separation of crops requires innovation” (Separ_Innov)

1.3.6.1 Barrier description

This barrier highlights the fact that the post-harvest management (screening, cleaning, drying, storing) and processing of new crops require innovations for the value chains to develop.

1.3.6.2 Key elements of solution

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: a. developing partnership within the value chain, and b. securing the profitability of the innovation (Figure 25).



Figure 25: Key elements of solution for the *Process_Innov*, *Pre_Pro_Innov* and *Separ_Innov* barriers.

The strategic axis of developing partnership with actors of the chain (a) can be implemented through:

- › Partnerships at the value chain level to co-adapt the processing (e.g. compromise on a variety that is both adapted to the local context of crop diversification and adapted to the processing);
- › Partnerships of several processing actors (on farm or downstream actors) for collective innovation in terms of equipment.

The objective of securing the profitability of the innovation (b) can be pursued with:

- › Incentives and/or pricing system that ensures a sufficient return on investment for stakeholders involved in the innovation process.

1.3.7 Barrier “Regulations issues around sanitary, quality and purity aspects” (Qualsan)

1.3.7.1 Barrier description

While regulations around sanitary, quality and purity aspects ensure high quality standards of the production, these regulations may be a limiting factor for innovation as they require a significant attention, time and equipment.

It is a transversal barrier that is encountered at the farm level as well as in niches and mainstream value chains. It was identified in 5 of the 25 case studies.

1.3.7.2 Key elements of solution

Two types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. making current regulation more supportive to crop diversification** and **b. developing specific regulations that support crop diversification** (Figure 26).

Making current regulation more supportive to crop diversification (a) can be achieved through:

- › Providing administrative support to actors undertaking diversification on regulatory aspects;
- › Providing subsidies to actors undertaking crop diversification for addressing regulatory and quality aspects;
- › Circulate information to the consumers about the high-quality standards of EU products as ensured by the regulatory frameworks (in contrast to possibly lower standards of imported products).

The idea of specific regulations supporting crop diversification (b) can be illustrated as below:

- › Develop specific HACCP/certification procedures facilitating the adoption of crop diversification techniques by farmers and processors and guaranteeing the safety of the alternative products.

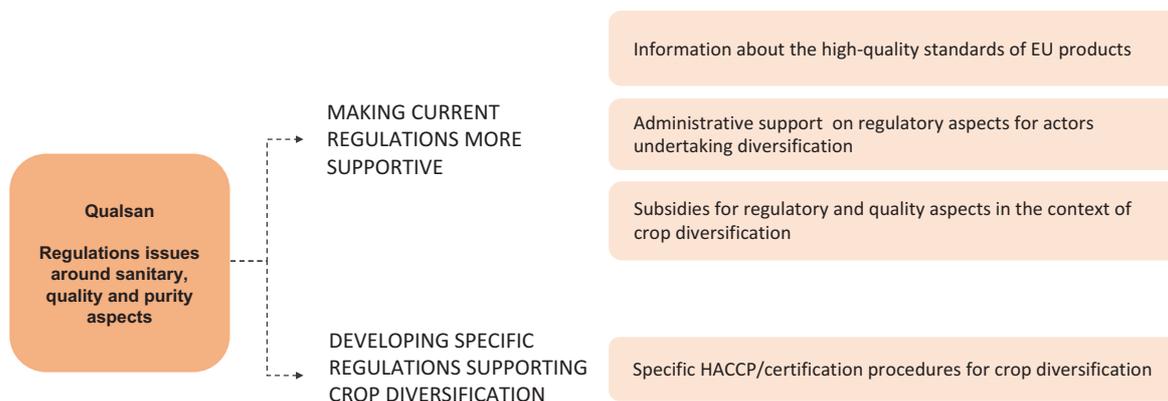


Figure 26: Key elements of solution for the *Qualsan* barrier.

1.3.8 Barrier “Administrative, fiscal or accounting issues” (Admin)

1.3.8.1 Barrier description

This barrier highlights the fact that administrative and fiscal and issues may come in the way of developing new market circuits and contracts.

As an example, in the context of strip cropping (one strategy of crop diversification), It is often reported that official declaration of strips in the dedicated software to obtain public subsidies (CAP) is a brain teaser, because such software usually allows only one crop per field.

On the fiscal aspect, contracting directly between farmers for selling crops (a relevant strategy in the context of crop diversification) is highly complex in some countries from a tax perspective, especially for big volumes. It sometimes requires the support of an, often reluctant, intermediary (such as a cooperative) which is officially allowed to collect taxes for the state, whereas farmers would like to interact directly between themselves.

This barrier was identified in 4 of the 25 case studies.

1.3.8.2 Key elements of solution

One main axis of solutions was identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **adapting the administrative and fiscal practices** (Figure 27).

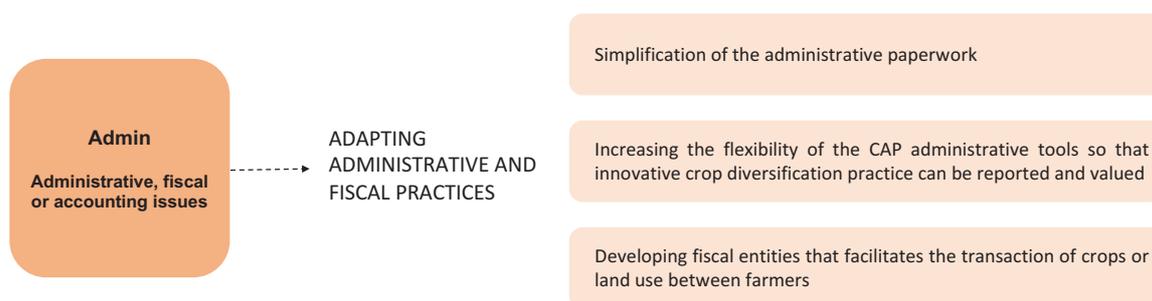


Figure 27: Key elements of solutions to the *Admin* barrier.

The objective of adapting the administrative and fiscal practices could take the form of:

- A simplification of the administrative paperwork to access subsidies;

- › A higher flexibility of the administrative tools of the CAP, especially in regard to diversification practices (e.g. taking into account strip cropping);
- › The development of fiscal entities that facilitate the transaction of crops or use of lands between farmers (to be explored by farmers' unions or groups of farmers).

1.3.9 Barrier “Traders are reluctant to support solutions which may reduce inputs that they sell” (Input)

1.3.9.1 Barrier description

This barrier highlights the fact that, in commodity value-chains, traders who buy the crop production are also the main providers of technical and agronomic advice¹² and farming inputs (fertilizers, pesticide, seeds, etc.). As crop diversification could reduce the dependency on external inputs and decrease the production volumes for main crops, these players have no interest in promoting it. This barrier is present in the “Changing from within” context i.e. mainstream value chains. It was identified in 3 of the 25 case studies.

1.3.9.2 Key elements of solution

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. developing more autonomy from the traders** and **b. promoting a supportive regulatory context** (Figure 28).

The objective of having more autonomy from the traders (**a**) can be developed through:

- › In cases where the inputs traders are also the crop buyers, the creation of alternative value chains by farmers for marketing their products, independently from inputs providers;
- › Diversifying the marketing options (multiple contracts between the farmer and downstream actors), leading to less dependency on one trading/downstream actor.

Examples of actions for developing a supportive regulatory context (**b**) include:

- › Making advisory and the provision of services/inputs separated;
- › Increasing the tax to be applied on farming inputs (fertilizers and pesticides); while
- › Offering specific subsidies related to crop diversification ecosystem services.

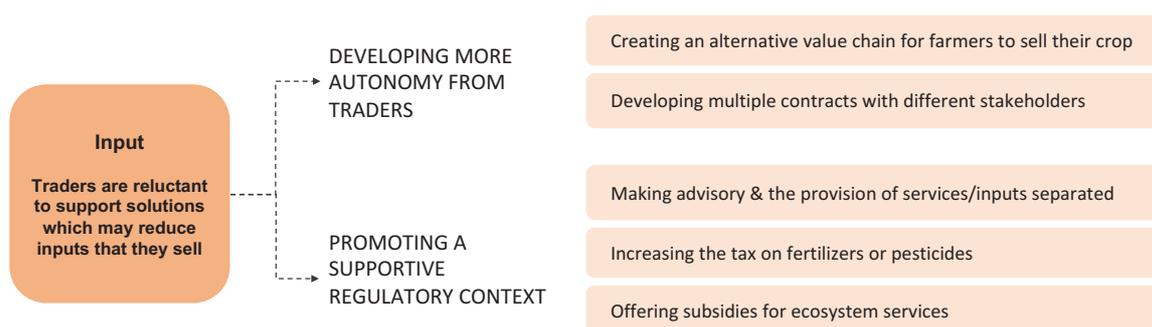


Figure 28: Key elements of solutions for the *Input* barrier.

¹² This has to be considered in parallel with the previously mentioned lack of independent technical advisory bodies and the fact that the traders or representatives of inputs companies often are the main actors going on the farms and having direct interactions with the farmers (see barrier *Advice*).

1.3.10 Barrier “Dealing with diversification products brings higher costs” (Cost)

1.3.10.1 Barrier description

This barrier highlights the fact that when diversifying cropping systems, farmers and downstream actors have to deal with smaller volumes, sometimes atypical products (new crop or new variety) and with a more variable quality and quantity than those found in commodity value chains. In addition to specific investment needs (see equipment barriers described above), these aspects may lead to higher costs for storing and processing the crop production, and the economies of scale are not so high than for large-scale production. This barrier was identified in 3 of the 25 case studies.

1.3.10.2 Key elements of solution

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge:

a. sharing the costs between actors of the value chain and **b. securing the demand** (Figure 29).

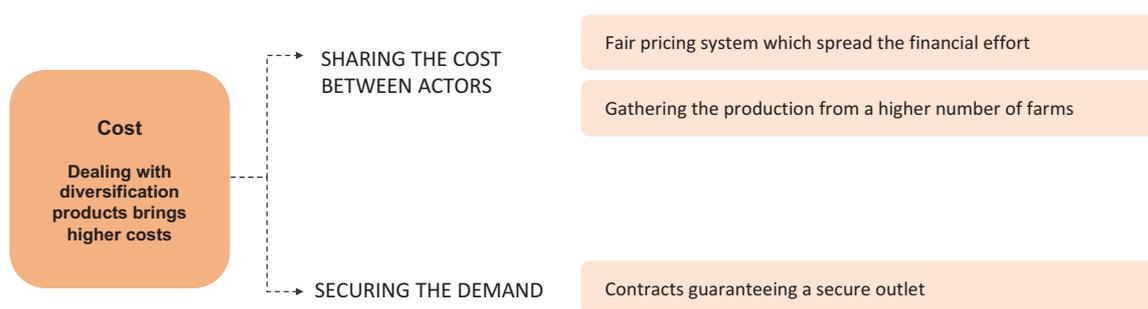


Figure 29: Key elements of solution for the *Cost* barrier.

The objective of sharing the additional costs between actors (**a**) can be implemented by:

- A fair pricing system which spreads the financial effort across the value chain;
- Gathering the production from a higher number of farms.

The objective of securing the demand (**b**) can be pursued with, e.g.:

- Contracts guaranteeing a secure outlet in the future. This is crucial to encourage farmers and downstream actors to “invest in a new crop”.

1.4 Solutions for addressing barriers at the market level

A total of four barriers were identified at the market level (Morel *et al*, 2020) (Table 1).

1.4.1 Barrier “Need to raise consumers’ awareness about diversification benefits”

1.4.1.1 Barrier description (Awar_Comm)

Explaining to consumers why crop diversification strategies are beneficial to the environment is a challenge. This is illustrated by the fact that farmers who practice strip cropping prefer to communicate on the positive visual impact of strips in terms of landscape than in terms of their agronomic advantage. This barrier was identified in 17 of the 25 case studies.

1.4.1.2 Key elements of solution

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts’ knowledge: **a. differentiating the products** and **b. improving communication towards consumers** (Figure 30).



Figure 30: Key elements of solution for *Awar_Consum* barrier.

The objective of differentiating the products (a) can be implemented through:

- › A labelling of products/farming systems that provide ecosystem services;
- › An increase in price to valorise the environmental benefits coming from crop diversification.

The objective of improving communication towards consumers (b), can be pursued through:

- › Communication campaigns on diversification systems and products;
- › Information and sensitization on the benefits of diversification for the environment;
- › Communicating on health benefits (plant-based proteins, fibres, omega 3...) ¹³.

These campaigns could be funded either by taxpayers, farmers or/and downstream actors ¹⁴. They could be undertaken in the mainstream medias, catering contexts ¹⁵, etc. There is a variety of options regarding the specific contents of such communication campaigns, focusing on the health benefits of new crops ¹⁶, agronomic and environmental benefits of diversification practices, etc. A special attention should be paid to not overload the consumers with information.

¹³ E.g. in public nutritional recommendations.

¹⁴ An example is the US Marketing Orders, to be related to specific crops.

¹⁵ E.g. in school catering, special meals made with local crops and alternative legume and cereals could be regularly organized.

¹⁶ In France, the National Program for Nutrition and Health insists on legumes and the vegetal balance in diets (Programme National Nutrition Santé 2019-2023, Ministère français des Solidarités et de la Santé. Available online: https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnns4_2019-2023.pdf).

1.4.2 Barrier “Uncertain or unstable market” (Uncert_Mark)

1.4.2.1 Barrier description

This barrier highlights that markets for diversification products remain uncertain or unstable. A key factor for price and market instability is the competition with imported products, sometimes cheaper, that may discourage farmers or downstream actors to invest in new crops and value chains.

This barrier is particularly encountered in the innovative systems and value chains (“Building outside the regime”): actors who base their system on diversification products could indeed be heavily fragilized by the instability or absence of market. This barrier was present in 14 of the 25 case studies.

1.4.2.2 Key elements of solution

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. managing the offer** and **b. securing the demand** (Figure 31).



Figure 31: Key elements of solutions to *Uncert_Mark* barrier.

The objective of better managing the offer (a) can be pursued through:

- › Adjusting the annual production volume to the demand volume;
- › Managing stocks from one year to another to smooth the demand variability.

The objective of securing the demand (b) can be pursued through:

- › Contracts between value chain actors, ensuring stable market for farmers and stable supply for downstream actors¹⁷;
- › Partnerships between processing companies and companies able to market the products¹⁸;
- › Promotion of crop diversification and related products as a key driver for improving environmental footprints.

1.4.3 Barrier “No pre-existing or very limited market” (Exist_Mark)

1.4.3.1 Barrier description

This barrier highlights the fact that the absence or the existence of a very limited market for diversification products limits the eagerness of undertaking crop diversification at the farm level as

¹⁷ Options for innovative contract design are being studied in the context of DiverIMPACTS' 5.4 task. For example, contract prices could be defined with (1) a minimum price level and (2) an additional, flexible amount, depending on the current crop prices. Contracts should take into account the specific yield, quality and price/market risks.

¹⁸ Existing examples: wheat from innovative cropping systems using less fertilizers; legumes for animal feed companies (ex. milk producer such as Danone)

well as creating the downstream value chain. Moreover, this implies that there is, so far, a lack of coordination, logistics and suitable contracts practices between the chain actors. As mentioned before, this barrier is interrelated to the barrier of the reduced consumers' awareness around issues related to crop diversification. Developing adequate communication for the different sectors of the value chain could be a key step.

This barrier is encountered in particular in the “Changing from within” ideal type. Considering their mainstream practices and usual market opportunities, the market for diversification products may appear as blurry or non-existent according to their standards. It was identified in 13 of the 25 case studies.

1.4.3.2 Key elements of solution

Two main axis of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. developing the market** and **b. securing the demand for crop diversification products** (Figure 32).

The objective of developing the offer (a) can be achieved through:

- › The development of new products (e.g. pasta made with hemp, lentils, etc.);
- › A progressive increase of the volumes produced.

The objective of securing the demand (b) can be pursued through:

- › The launch of generic advertising campaigns;
- › The use of new crops as a substitute for mainstream crops in existing processing chains;
- › The assessment of the demand and the possibility to adapt the final product accordingly;
- › Growing the niche markets.



Figure 32: Key elements of solution to the *Exist_Mark* barrier.

1.4.4 Barrier “Doubts about willingness of consumers to pay more for diversification products” (Willing)

1.4.4.1 Barrier description

This barrier highlights the fact that many doubts are expressed about consumers' willingness to pay (WTP) more for new differentiated products. The difficulty to communicate about the benefits of diversification practices is being considered as a main challenge for the different actors of the chain.

This barrier was identified in 9 of the 25 case studies.

1.4.4.2 Key elements of solution

Three main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. differentiating the products and improving communication towards consumers**, and **b. developing a supportive policy framework** (Figure 33).



Figure 33: Key elements of solution to the *Willing* barrier.

The objective of differentiating the products and improving communication towards consumers (a) can be achieved through:

- › Communication campaigns (e.g. generic advertisement) about the benefits of crop diversification for the environment and for human health (e.g. dietary fibres, omega 3, etc.);
- › Promotion of new products (pastas, meat substitutes made with legumes and vegetables) with generic advertising.
- › Labelling the products¹⁹.

The objective of developing a supporting policy framework (b) can be composed of:

- › Subsidizing food products obtained through crop diversification: as consumers' WTP is limited, public regulation may play a role²⁰.

1.5 Solutions for addressing barriers at the coordination level

A total of ten barriers were identified at the coordination level (Morel, et al, 2020) (Table 1).

1.5.1 Barrier « No ensured and/or fair sharing of added value between actors »

1.5.1.1 Barrier description (Price)

This barrier highlights the necessity of establishing clear contracts in advance, based on fair and transparent prices that cover production and operational costs at all levels of value chains.

This barrier affects in particular the 'building outside' regime, and secondarily the mainstream value chains. The absence of this barrier in the 'playing horizontal' setting is explained by the fact that farmers deal directly with one another or with their usual trade partners, fair and ensured pricing is therefore not a concern.

This barrier was identified in 17 of the 25 case studies.

¹⁹ Labelling can be done either with existing labels or new labels. While new labels may lead to an overload of information to the consumers, existing labels (such as the organic agriculture label) already are well known by consumers.

²⁰ An option to finance these subsidies could be a tax on polluting/classical foods or with a tax on animal-based proteins.

1.5.1.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: a. differentiating the products, and b. developing innovative value chains (Figure 34).

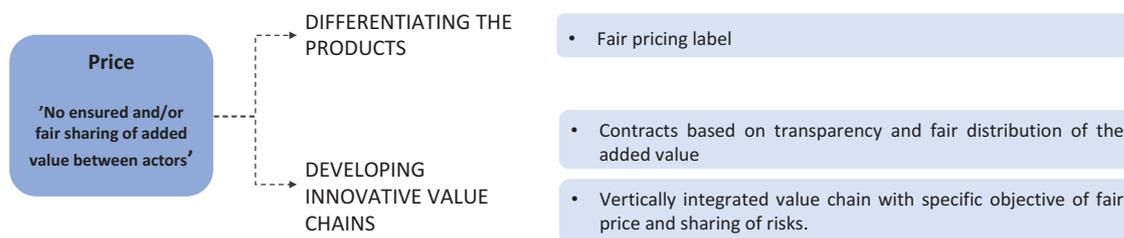


Figure 34: Key elements of solution to the *Price* barrier.

The objective of differentiating the products (a) can be reached through:

- › The development of a label that guarantees a fair distribution of the added value along the value chain.

The objective of developing innovative value chains with innovative, fair commercial standards (b) can be pursued through:

- › Contracts based on transparency along the supply chain to ensure fair pricing and a sufficient profitability for every actor of the chain;
- › Vertically integrated value chains developed with a specific objective of fair price and fair share of risks.

1.5.2 Barrier « No ensured or limited volumes to buy/sell products or establish secure contracts » (Quant)

1.5.2.1 Barrier description

This barrier underlines the difficulty of establishing contracts when the farmer can only guarantee a limited volume of production or is confronted with unplanned default of production.

It is especially found in the 'building outside' setting where farmers work with small volumes of products which are generally atypical and more variable in quality than those found in commodity value chains. The absence of this barrier in the 'playing horizontal' setting is explained by the fact that farmers deal directly with one another or with their usual trade partners, quantities are therefore not a concern in the contracts. This barrier was identified in 12 of the 25 case studies.

1.5.2.2 Key elements of solutions

Three types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: a. securing the offer and b. securing the demand (Figure 35).

The objective of securing the offer (a) can be implemented through:

- › Calling on a value chain intermediary who can centralize farmers' production according to the supply needs of the processing industry;
- › A progressive increase of the volume of diversification products;
- › The grouping of farmers who implement diversification practices to reach a critical volume of products to be sold;
- › Cooperation and knowledge sharing in order to make crop diversification easier.

The objective of securing the demand (b) can be pursued through:

- › Setting contracts with a certain flexibility on the quantity and quality allowing contracts' adaptations depending on the profitability for farmers during the innovation process.



Figure 35: Key elements of solutions to the *Quant* barrier.

1.5.3 Barrier « Duration of contracts not enough to secure farmers in taking risks and investing » (*Dura*)

1.5.3.1 Barrier description

This barrier highlights the difficulties linked to contracts' duration and related insecurities.

It is found in particular in the 'changing from within' context, in which the difficulty to build multi-year contracts can impede the integration of a new crop which requires financial and personal investment (information, energy, time). The absence of this barrier in the 'playing horizontal' setting is explained by the fact that farmers deal directly with one another or with their usual trade partners, durations are therefore not a concern in the contracts. This barrier was identified in 10 of the 25 case studies.

1.5.3.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: a. limiting the investment costs, and b. securing the demand (Figure 36).

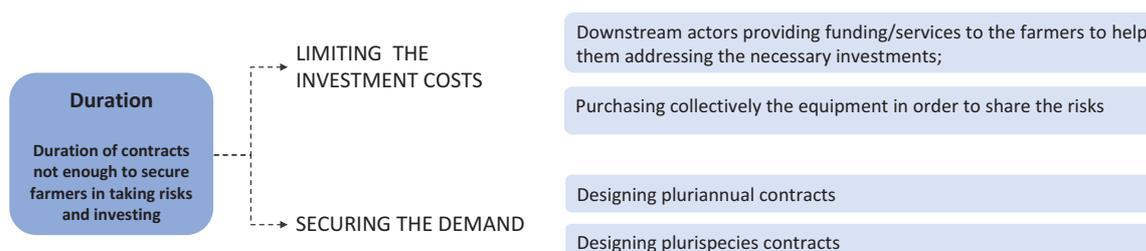


Figure 36: Key elements of solutions to the *Duration* barrier.

The objective of limiting the investment costs (a) can be implemented through:

- › Downstream actors providing funding/services to the farmers to help them addressing the necessary investments;
- › Purchasing collectively the equipment in order to share the risks.

The objective of securing the demand (b) can be pursued through:

- › Designing pluriannual contracts covering at least 3 years and with exit options for farmers;
- › Designing contracts that cover several crop species.

1.5.4 Barrier « Limited or no cooperation between innovative farmers » (Orga) & Barrier « Individualistic mentality and lack of trust between farmers limit collective action » (Indiv)

1.5.4.1 Barriers description

These barriers highlight the limited practice of cooperation between farmers and the individual mindset that ban them from organizing collectively and providing together enough volumes to mitigate the collection and management costs of alternative crops.

It is found in particular in the ‘changing from within’ setting, where farmers work with large and highly specialized mainstream cooperatives or traders that often are reluctant to collect and store small volumes of new crops. On the other side, farmers innovating outside the dominant regime are generally more eager to collaborate. This barrier was identified in 8 of the 25 case studies.

The “Indiv” barrier is found in particular the ‘changing from within’ setting (mainstream value chains), and, together with the lack of cooperation, limits the bargaining capacity of individual farmers against large-scale downstream operators. It was identified in 7 of the 25 case studies

1.5.4.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. rethinking advisory services towards cooperation**, and **b. developing a supportive policy framework** (Figure 37).

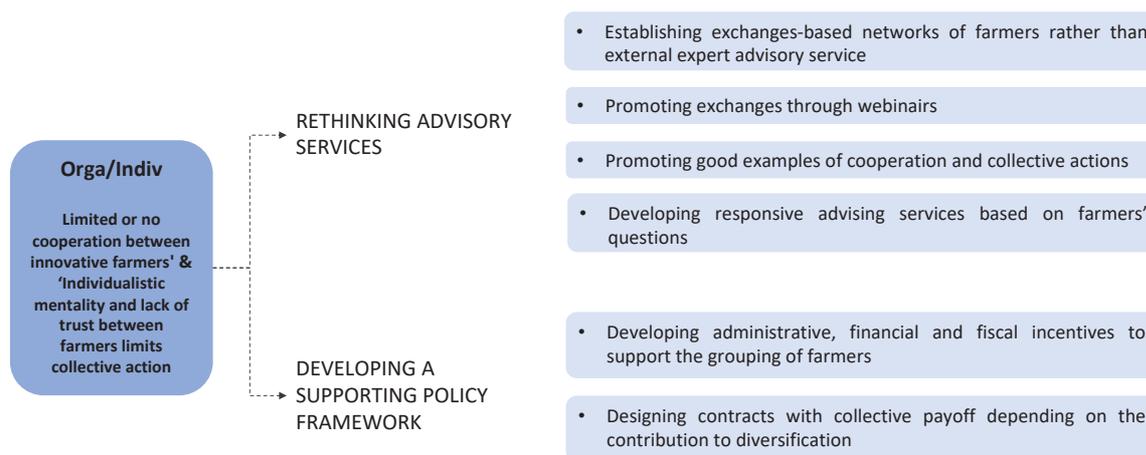


Figure 37: Key elements of solutions to the *Orga* and *Indiv* barriers.

The objective of rethinking the advisory services to foster cooperation (a) can be implemented through:

- › Establishing farmers’ networks where the coordinators endorse a role of facilitator of exchanges rather than a role of expert or advisor;
- › The promotion of farmers exchanges through webinars;
- › The promotion of good examples of cooperation and collective action;
- › Innovative advisory approaches based on farmers’ questions (adaptative and responsive advisory).

The objective of developing a supporting policy framework (b) can be pursued through:

- › The development of incentives to support farmers to group: financial support for collective purchase, administrative simplification for groups and cooperatives, fiscal advantages for cooperatives;
- › The design of contracts which include collective payoff depending on the contribution to diversification.

1.5.5 Barrier « Unbalanced power in bargaining between farmers and traders »

1.5.5.1 Barrier description (*Power*)

This barrier highlights the limited bargaining capacity of individual farmers against large-scale downstream operators.

This can be linked to the two previous barriers (i.e. lack of cooperation and individualistic mentalities among farmers). All of those barriers are encountered especially in the ‘changing from within’ setting, where farmers face big and highly specialized mainstream cooperatives or traders. As a consequence of this unbalanced situation, farmers may feel powerless, accept unfavourable rules and focus their scope of action at the farm level.

This barrier is seen only secondarily in the ‘building outside’ setting. Interactions between value-chain actors are generally less conflictual in alternative circuits, with fewer power imbalances, because most actors are small and share common alternative values.

It was identified in 7 of the 25 case studies.

1.5.5.2 Key elements of solutions

The main solution identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge is developing innovative value chains (Figure 38).



Figure 38: Key elements of solutions to the *Power* barrier.

The objective of developing innovative value chains (a) can be implemented through:

- › Building alternative value chains with less actors or actors who are willing to maintain fairness and transparency in the value chain;
- › The gathering of farmers in organization or cooperatives in order to increase their bargaining power;
- › The development of cooperatives gathering different actors of the chains (producer-processor-consumer cooperative) with a shared vision.

1.5.6 Barrier «Finding suitable contracts to address issues related to variability in production (flexibility, sharing risks and reducing control costs) » (Variab)

1.5.6.1 Barrier description

This barrier highlights the lack of suitable contracts between value-chain actors to share the risks associated with the variability of production, especially during the first years of experimentation of new practices. It is a transversal barrier encountered in all innovation settings. It was identified in 7 of the 25 case studies.

1.5.6.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. securing and organizing the production**, and **b. securing suitable contracts** (Figure 39).



Figure 39: Key elements of solutions to the *Variab* barrier.

The objective of securing and organizing the production (a) can be implemented through:

- › Adapting production volumes according to variability risks and downstream actors' needs. For instance, produce into 2 years the needed volume for 3 years of transformation if there is a risk of bad quality every 3 years.

The objective of securing suitable contracts (b) can be pursued through:

- › Designing contracts with a certain flexibility of duration and pricing system allowing contracts' adaptations depending on the profitability of farmers;
- › Designing fair price contracts that integrate protection from various types of risks.
- › Designing pluriannual contracts covering at least 3 years and which include exit options for farmers.
- › Designing contracts that cover several crop species.

Options for innovative contract design are being further studied in the context of DiverIMPACTS' task 5.4, and will be published in D5.6.

1.5.7 Barrier « Lack of communication between value chain actors » (Comm)

1.5.7.1 Barrier description

This barrier highlights the limited cooperation between actors of the chains banning them to envision collective changes in the organization and governance of the value chains. Moreover, the farmers involved in diversification crops remain quite marginalized and scattered, which keeps them at distance from the existing institutionalized dialogues. A range of institutionalized space of dialogue exist nowadays, but they are largely occupied by traditional actors and conventional farming systems representatives. The difficulty for the “outsiders” is to obtain a place in those historical structures in order to make their preoccupations audible. This barrier is encountered both in the ‘building outside’ and ‘playing horizontal’ settings. It was identified in 6 of the 25 case studies.

1.5.7.2 Key elements of solutions

Two main types of solutions were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. making the alternative farming systems more visible** and **b. developing a supportive policy framework** (Figure 40).



Figure 40: Key elements of solutions to the *Comm* barrier.

The objective of making the new systems more visible (a) can be implemented through:

- › Supporting, within existing structures, the development of branches for innovative farming systems;
- › A specific support to farmers 'organization which engage in alternative farming systems;
- › The mobilization of civil society actors on the topic of innovative farming systems.

The objective of developing a supportive policy framework (b) could be reached through:

- › The creation of new dialogue arenas including alternative actors;
- › The integration of those innovative farming systems representatives in official dialogues and policy consultation.

1.5.8 Barrier « No ensured quality of products to be bought, sold or to establish secured contracts » (*Qual*)

1.5.8.1 Barrier description

Similarly, to the other variability challenges (see barrier “Variab”), the quality of crop diversification products may hinder the development of new value chains and contracts.

1.5.8.2 Key elements of solutions

Key elements of solutions listed above are also relevant for addressing this barrier, such as:

- › Identifying the factors impacting crops' quality (see *Perf* barrier);
- › Setting insurance mechanisms to overcome variability of the quality (and the yield, see *Perf* barrier);
- › Designing pluriannual contracts allowing for progressive improvement of the quality (see *Variab* barrier);
- › etc.

1.5.9 Barrier « No ensured reciprocal benefits in farmers partnerships » (*Benef*)

1.5.9.1 Barrier description

The barrier refers to the absence of guarantee about the benefits crop diversification partnerships may bring. Benefits can be expressed in terms of yields, revenues, technical improvements, etc.

This barrier is reinforced by problems of communication between partners which may ban them to clearly formulate the expected advantages and possible compensation (see *Comm* barrier). Emphasis is therefore put on the possibility to draw up fair contracts guaranteeing that both livestock and arable farmers will derive benefits, especially in cases of grazing on winter cover crops and land exchanges.

This barrier is particularly present in the ‘playing horizontal’ ideal type. It was encountered in 4 of the 25 case studies.

1.5.9.2 Key elements of solutions

Two main types of solution were identified across DiverIMPACTS case studies and experts' knowledge: **a. developing a supportive policy framework**, and **b. rethinking advisory services** (Figure 41).

The objective of developing a supportive policy framework (a) could help:

- › Designing legal tools for framing those partnerships.

The objective of rethinking advisory services (b) could be done through:

- › Developing advisory skills for supporting such partnerships;
- › Developing tools for assessing and keeping track of the benefits for both parties;
- › Documenting examples of such partnerships and the related benefits.



Figure 41: Key elements of solutions for the *Benefit* barrier.

2. Actors to be involved in the implementation of the solutions: an overview

For each solution identified, the actors to be involved in the implementation of the solution were identified (See Table 2 in appendix).

They include: Farmers (individually or as a group); Farming advisory services, agronomic R&D, agricultural education institutes; Public Administration & Policy; Socio-economic Research; Banking, insurance and risk management services; Downstream actors; Consumers and their representatives; and Civil society, environmental NGOs.

3. Conclusion and recommendations

While Morel *et al* (2020) identified 46 barriers to crop diversification, the collective expertise of DiverIMPACTS WP5 partners allowed identifying close to 200 solutions at the farm level and along value chains.

Barriers to crop diversification are interrelated (see DiverIMPACTS Policy Brief #2 (Antier C. et al. *in prep*)).

- Horizontally: e.g. at the farm level, the lack of access to innovative technical knowledge, the lack of resources and cultural/cognitive barriers may reinforce each other and impact the farmers' ability to undertake strategies of crop diversification.
- Vertically: e.g. in the value chains, the high variability of yields and quality of new crops at the farm level make investments for processing risky, and vice versa: the lack of reliable opportunities for processing crop production and marketing innovative products discourage farmers from investing in crop diversification. Another example is the lack of coordination between actors, that strengthen the difficulty of setting up new value chains and marketing opportunities.

As a consequence, enablers have to be rolled out with a systemic approach (DiverIMPACTS Policy Brief #1). Such a systemic approach will take into consideration all stages of the value chains as well as the interactions between them.

It must be underlined that some of the barriers and solutions are not only related to crop diversification but apply to the shift to agroecology in general.

Some solutions are suitable for more than one barrier. Methods can be used to find actions and/or solutions that can be considered as no regrets options: a farmer/actor should at least start with these solutions to combat his or her problem.

Solutions will be further tested and analysed by DiverIMPACTS' WP5 partners.

4. Partners involved in the work

Collective expert assessment: UCL, DLO (Wageningen University & Research), INRAE, Agrosolutions, Walagri and Baertschi.

Methodology conception, workshop animation and report redaction: UCL.

Report review: INRAE.

5. References

Antier C., Viguier L., Messéan A. and Baret P.V. (in prep). DiverIMPACTS Policy Brief #2: Recommendations for overcoming barriers to crop diversification towards a sustainable agriculture.

Morel K., Revoyron E., San Cristobal M., Baret P.V. (2020) Innovating within or outside dominant food systems? Different challenges for contrasting crop diversification strategies in Europe. PLoS ONE 15(3): e0229910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229910>

Paresys L., Stilmant D., Baret P., Bliss K., Canali S., Colombo L., Hellou G., Rossing W., Vandewalle A., Willer H., Messéan A. 2021. DiverIMPACTS Policy Brief #1: Systems approaches to promote crop diversification as a lever towards sustainable agri-food systems.

6. Appendix

Table 2: Actors to be involved for implementing solutions to the barriers to crop diversification.

Actors to be involved:

Far: Farmers (individually or as a group);

Adv: Farming advisory services;

Adm & Pol: Public Administration and Policy makers;

Ag R&D: agronomic R&D;

SE Res: Socio-economic research;

Ban & Ins: Banking, insurance and risk management services;

Ups: Upstream actors;

Down: Downstream actors;

Edu: agricultural education institutes;

NGO cons: Consumers representatives;

NGO envi: environmental NGOs, Civil society.

	Solutions	Far	Adv	Adm & Pol	Ag R&D	SE Res	Ban & Ins	Ups	Down	Edu	NGO cons	NGO envi
Lack of technical knowledge and references	Field experiments at the farm level	x	x		x							
	Field experiments by or with farmers' groups	x	x		x							
	Field experiments and research by/with downstream actors	x							x			
	Diversification of the farmers' sources of knowledge (networks, etc.)	x	x		x			x	x	x		x
	Access to knowledge from other regions or other countries	x	x		x					x		
	Knowledge through additional trainings	x								x		
Lack of economic	Assessing costs, investments and prices for the new value chains	x	x		x	x			x			
	Developing "peer-to-peer" farmers exchanges on prices and costs	x	x			x						

knowledge and reference	Transferring economic references from downstream actors to farmers and <i>vice versa</i>	x							x			
	Increasing the transparency of supply constraints and opportunities	x	x			x			x			
Need of investment for adapted machinery	Relying on second-hand machinery			x				x				
	Encouraging co-investments by farmers' groups			x				x	x			
	Supporting the adaptation of the existing equipment			x				x				
	Renting machines instead of buying them	x										
	Adapting capital expenses to area and volumes to be produced	x	x									
Guaranteeing sufficient market outcomes									x		x	
Lack of technical knowledge and references about impacts on sustainability	Field experiments for assessing the impacts of new practices/crops	x	x		x	x						
	Monitoring by farmers of the impacts at the farm or plot level	x	x		x	x						
	Sharing of knowledge ad references by research/advisory institutions				x	x	x					
	Labelling that promotes products with high ecological value	x		x					x	x		x
	Training programs for farmers about sustainability indicators and practices	x	x								x	
Profitability is low, problematic or uncertain	<i>See solutions for the barrier Uncert_Perf</i>											
	Mitigating risks by increasing the number of crops on the farm	x	x			x						
	Internalizing some processing activities in order to increase the added value	x	x		x	x						
	Fair price mechanisms	x				x				x		
Contracts that take into account the variability of the production and its profitability	x				x				x			
Uncertainties, risks and variability of agronomic performances	Field experiments at small scale first	x	x		x					x		
	Setting insurance mechanisms for addressing the risks of crop failure	x						x				
	Ensuring risk sharing with downstream actors or within farmers' groups	x							x	x		
	Fostering crop breeding for increasing the agronomic performances of new crops	x	x		x				x			
	Experiments led by cooperatives or advisory institutions	x	x		x							
Lack of technical knowledge about the impact on farming system and design	Identify successful crop combinations for diversification	x	x		x							
	Assessing the effects of crop diversification on farming systems	x	x		x							
	Assessing the impacts of minor crops in the context of diversification	x	x		x							
	"Peer-to-peer" farmer learning process	x	x									
	Transferring knowledge through training by farming advisory		x		x						x	
Lack of information because of problems with advisory context	Trainings for farmers to acquire knowledge		x	x	x					x	x	
	Peer-to-peer farmers or inter-actors exchange of knowledge and experiences	x	x	x	x					x		
	Development of a independant advisory services	x	x		x						x	
	Diversification of knowledge networks											x
	Promoting different sources of advice											
Current situation is still profitable on the short term	Identifying the agronomic and economic risks of conventional systems	x	x		x	x				x		
	Specific communication about the long-term risks of conventional systems		x	x	x	x	x	x	x	x		x
	Assessing and describing the advantages of innovative practices		x		x						x	x
	Communicating on examples and quantitative results.	x	x	x	x						x	x
Constraints in labour organisation (period, volume), mental or physical load	Reorganization of the labor force in order to manage the new activities associated with the diversification practices	x	x		x	x						
	Hiring service providers to manage some crop operations	x								x		
	Hiring an additional employee using the revenue from the new crop	x								x		
	Selecting crops with low work demand and/or crops that can help spread the workload along the year	x	x		x	x						
	Emphasize a cost-benefits approach to highlight the long term benefits of crop diversification	x	x		x	x						

	Support to farmers in reshaping their work routine and farming system		x		x	x				x		
Barriers related to CAP, environmental or sanitary regulations	Promoting the environmental benefits of diversification practices to overcome the fear of wasted time on extra regulations	x	x	x					x			
	Promoting the environmental benefits of diversification practices to overcome the fear of wasted time on extra regulations	x	x	x					x			
	Simplification of CAP paperworks in order to limit the supplementary administrative workload	x	x									
	K_Syst" barrier											
	Documentation about the regulations and how they apply to diversification crops		x							x		
	Advisory serices that focus on the clarification of regulations' application		x									
Lack of adapted plant varieties in the local context	Additional research on varieties and species relevant to crop diversification in the EU farming contexts	x	x		x			x	x			
	Providing seeds of relevant varieties and advice on the successful farming practices for these varieties	x	x		x			x	x			
Need of innovation in machinery for field activities	Adaptation of existing machines to new crops and new practices	x	x		x			x				
	Choosing the crops and practices in consistency with available machines and possible on-farm innovations	x	x		x			x				
	Identifying the innovations needed for crop diversification	x	x		x	x		x				
	Supporting farmers-to-farmers knowledge sharing about on-farm innovation	x	x									
	Communicating towards machinery providers		x	x	x			x				
	Supporting R&D and marketing of innovative machinery, suitable for crop diversification practices	x	x	x				x				
Low agronomic performances (yield, quality)	Identification of the factors impacting crops performance, in terms of yield and quality	x	x		x				x	x		
	Evaluation of crops' performance through multi-criteria assessment	x	x			x	x			x		
	Designing contracts with guaranteed prices to farmers					x			x		x	x
	Setting insurance mechanisms to overcome low/variable yields						x		x			
Increased complexity for management and decision-making	Developing management tools that take into account specificities of diversification	x	x		x	x			x	x		
	Setting advantages (e.g. higher added-value) that compensate for the increased complexity							x				
	"Advice" barrier											
Cognitive frame and ways of thinking need to be changed & Cultural barriers	Reducing the misperception of the hazards associated with diversification practices		x			x						
	Integration of diversification practices in training & education programs	x	x		x	x				x		
	Development of specific advisory services	x	x			x				x		
Seeds are hard or expensive to get	Collective purchase of larger volume of seeds by farmers groups or cooperatives	x	x	x								
	Fostering exchanges of farmer-saved seeds within farmers networks.	x	x	x	x			x	x		x	x
	Assessing the seeds costs in comparison to the crop added value		x		x			x				
	Providing information on the existing seeds supply options								x			
	Supporting the development of quality seeds supply	x	x	x	x			x	x		x	x
Farmers' lack of awareness about issues linked to specialisation	Identifying the systemic nature of the problems in the farming systems	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Adopting multi-criteria evaluation to assess performance	x	x		x	x				x		x
	Promoting profitable crop diversification farming systems	x	x	x	x	x			x		x	x
	Fostering "peer-to-peer" farmers exchanges	x	x	x	x	x			x	x		
Lack of available or adapted phytosanitary solutions	Experimenting agronomic strategies for integrated pest management	x	x		x			x	x			
	Encouraging research on new bio-products to protect crops.				x			x	x		x	x
	Encouraging R&D for sustainable mechanical weeding				x			x	x		x	x
	Compensating lower yields with adapted sale prices and contracts							x		x		
	Grouping the minor crops in close geographic areas	x							x			

Volumes are too limited in a given area to be profitably or easily collected	Increasing the number of farmers and acreage dedicated to new crops	x	x	x								
	Supporting farmers' groups to manage the collection and storage activities	x	x						x			
	Rely on, or create, capacities for collecting small volumes	x							x			
	Setting up contracts that encourage farmers or farmers' groups to increase the crop acreage along years	x							x			
Equipment for screening, cleaning, drying or storing requires investment	Increasing the acreage/volume of the crop to be processed											
	Increasing the number of crops concerned by the new equipment	x	x		x			x		x		
	Selling processing services to other actors											
	Gathering farmers for collective investment or use	x						x	x		x	
	Financial support for the purchase of diversification-related equipment			x			x		x			
	Contracts for securing market opportunities			x				x	x			
	Identifying a valuable technical innovation	x	x		x			x	x			
Equipment for processing requires investment	Gathering farmers for collective investment or use	x						x	x		x	
	Sharing responsibilities and skills for the use of the new equipment	x	x					x	x		x	
	Investment in processing equipment may lead to obtaining contracts that would not be accessible otherwise. The equipment enables a diversification of the marketing opportunities.	x							x		x	
	Increasing the acreage/volume of the crop to be processed											
	Processing services could be sold to other actors if the equipment is not used at 100% of its capacity	x							x		x	
	Fair pricing mechanisms	x		x		x		x		x	x	x
Competition on the global market with crops produced cheaper elsewhere (for processors or retailers)	Developing specific, high added-value products	x							x			
	Communication on the specificities of the product: sustainability, etc.	x							x	x	x	x
	Securing markets through vertical integration or contracts	x							x		x	x
	Prospecting for niche markets with high added value	x				x			x		x	
	Managing the price ranges for ensuring a fair competitive context			x		x			x		x	x
	Promoting crop diversification in catering			x								x
Equipment for screening (i.e. Separation of crops) requires investment	Increasing the acreage/volume of the crop to be processed	x	x						x	x		
	Increase in the number of crops and volumes concerned by the new equipment	x	x		x			x				
	Selling services to other actors if the equipment is not used at 100% of its capacity	x							x			
	Organizing collective investments (farmers' groups)	x	x				x		x			
	Secure sufficient revenues with good pricing system					x	x		x		x	x
	Incentives or subsidies for funding new equipment for diversification	x		x		x		x		x	x	x
Equipment for screening, drying, storing, cleaning, processing requires innovation	Partnerships at the value chain level to co-adapt the processing	x	x		x				x			
	Partnerships of several processing stakeholders for innovation			x		x			x			
				x		x			x			
	Pricing system that ensures sufficient return on innovation											
Regulations issues around sanitary, quality and purity aspects	Communication about the high-quality standards of EU products		x	x						x	x	x
	Administrative support on regulatory aspects for actors undertaking diversification	x	x	x				x	x			
	Subsidies for regulatory and quality aspects in the context of crop diversification	x		x				x	x			
	Specific HACCP/certification procedures for crop diversification	x		x				x	x			
Administrative or fiscal or accounting issues	Increasing the flexibility of the CAP administrative tools so that innovative crop diversification practices can be reported and valued	x	x	x								
	Developing fiscal entities that facilitate transaction of crops or use of lands between farmers	x		x			x					
	Simplification of the administrative paperwork		x	x								

Traders are reluctant to support solutions which may reduce inputs that they sell	Creating alternative value chains for farmers to sell their crops	x						x	x			
	Development of multiple contracts with different stakeholders	x					x	x	x		x	x
	Making advisory and the provision of services/inputs separated		x	x				x				
	Increasing the tax to be applied on some inputs like some fertilizers and pesticides			x							x	x
	Offering subsidies for ecosystem services			x								x
Dealing with diversification products brings higher costs	Fair pricing mechanisms which spread the financial effort	x		x		x	x	x	x		x	x
	Collecting the production from a group of farms	x							x		x	
	Contracts guaranteeing a secure outlet	x		x					x		x	x
Need to raise consumer's awareness or bad visibility of diversification benefits	Labelling of products/farming systems that provide ecosystem services	x		x					x		x	x
	Increasing the price to differentiate the crop diversification products	x							x			
	Communication campaigns on diversification systems and products			x					x			x
	Communication on the environmental benefits of diversification			x					x			x
	Communication on health benefits of legume and new crops			x					x		x	x
Uncertain or unstable market	Adjusting the annual production volume to the demand	x	x						x			
	Managing stocks from one year to another to smooth the demand variability.	x	x						x			
	Contracts between value chain actors	x							x			
	Partnerships between processing and retail/marketing companies	x							x			
	Promoting diversification products for reaching environmental targets			x					x			x
No pre-existing or very limited market	Development of new products based on innovative crops	x							x			
	Increase the volumes produced	x	x						x			
	Communication campaigns on crop diversification and products			x					x		x	x
	Integrating new crops in existing processing chains					x			x			
	Assessing the demand					x			x			
	Growing the niche markets			x					x		x	
	Communication campaigns about the benefits of diversification for the environment and human health		x	x			x		x			
	Promotion of new products made with diversification crops								x			
	Distinctive labeling of the crop diversification products	x				x			x		x	
	Subsidizing crop diversification products			x		x						
No ensured and/or fair sharing of added value between actors	Development of a fair pricing label					x					x	
	New supply chains that integrate the development of innovative commercial practices							x				
	Contracts that offer transparency and fair distribution of the added value	x		x		x			x		x	
	Vertically integrated value chains with specific objectives of fair price and sharing risks	x							x		x	
No ensured or limited volumes to buy/sell products or establish secure contracts	Calling on an intermediary actor to collect sufficient volumes								x			
	Progressive increase of diversification crops volume in a given area	x	x						x			
	Grouping of farmers who implement diversification practices	x										
	Farmers cooperation and knowledge/skills exchange	x	x					x				
	Setting contracts with a certain flexibility on the quantity and quality	x							x			
Duration of contracts not enough to secure farmers in taking risks and investing	Downstream actors providing funding/services to the farmers to help them addressing the necessary investments	x					x		x			
	Purchasing collectively the equipment in order to share the risks	x							x		x	
	Designing pluriannual contracts	x							x		x	
	Designing plurispecies contracts	x							x		x	
Limited or no cooperation between	Establishing farmers networks for knowledge sharing	x	x									
	Promotion of peer to peer exchanges and learning through webinars	x	x							x		

innovative farmers & individualistic mentality and lack of trust between farmers limit collective action (2 barriers merged)	Promotion of good examples of cooperation and collective actions		x	x									
	Developing responsive advisory services based on farmers' questions		x										
	Developing administrative, financial and fiscal incentives to support the grouping of famers			x									
	Contracts with payoff depending on the contribution to diversification	x					x			x			
Unbalanced power in bargaining between farmers and traders	Building alternative value chains with specific actors	x	x							x			
	Gathering of farmers to increase their bargaining power	x		x									
	Developing cooperative organisations that gather different actors of the chains	x								x			
Finding suitable contracts to address issues related to variability in production (flexibility, sharing risks and reducing control costs)	Adapting production volumes according to variability risks and downstream actors' needs	x								x		x	
	Designing contracts with flexibility on the duration and the pricing system	x						x		x		x	
	Designing fair price contracts that integrate protection for various types of risks	x						x		x		x	
	Designing pluriannual contracts	x						x		x		x	
	Designing plurispecies contracts	x								x		x	
Lack of communication between value chain actors	Developing within existing structures, a branch dedicated to crop diversification practices and products	x	x	x						x			
	Supporting farmers' organizations engaged in crop diversification	x	x	x				x					
	Mobilizing civil society actors on crop diversification matters											x	x
	Creating new dialogue arenas including alternative actors			x									
	Integration of alternative farming systems representatives in institutionalized dialogues		x	x									
No ensured quality of products to be bought, sold or to establish secure contracts	See Perf + Variab												
No ensured reciprocal benefits in partnership (especially for land arrangements)	Designing legal tools to frame innovative partnerships			x									
	Developing advisory skills for supporting innovative partnerships		x					x					
	Developing tools for assessing the benefits of such partnerships		x		x	x							
	Documenting examples of such partnerships				x	x							

Titre : Des leviers pour accompagner les trajectoires de diversification des cultures dans les exploitations agricoles et les territoires. Cas de trois régions européennes

Mots clés : agronomie, trajectoires de changement de pratiques, filières, conseil, systèmes d'approvisionnement, apprentissages

Résumé : La diversification des cultures est un enjeu majeur de l'agroécologie, mais se heurte à une situation de verrouillage autour de quelques espèces cultivées dominantes. L'objectif de la thèse est d'identifier des moyens de sortir de ces situations de verrouillage, en s'appuyant sur des expériences existantes de diversification des cultures dans trois territoires en France, en Italie et en Suède. En identifiant des mécanismes de diversification transversaux à ces trois territoires, ce travail donne à voir la diversité des manières de diversifier et des processus qui y sont associés.

L'analyse des trajectoires d'exploitations agricoles ayant diversifié leurs cultures nous permet de mettre en évidence les motivations à diversifier des agriculteurs et leurs combinaisons. La diversité de ces motivations et des ressources mobilisées par les agriculteurs au cours de leur trajectoire conduisent à des processus de diversification de nature et d'intensité variées.

Au niveau des territoires, nous caractérisons différents types de systèmes d'approvisionnement à travers lesquels sont commercialisées les cultures de diversification. La caractérisation de ces systèmes nous permet de comprendre la relation entre les stratégies des entreprises d'aval et les dynamiques de diversification, et de montrer l'importance de la complémentarité des systèmes d'approvisionnement pour la diversification des territoires.

Enfin, nous éclairons les modalités d'apprentissage des agriculteurs qui diversifient. Celles-ci évoluent au cours des trajectoires, selon l'objet sur lequel portent les apprentissages, mais aussi en fonction des attentes des agriculteurs vis-à-vis de la diversification, et des systèmes d'approvisionnement dans lesquels ils s'engagent.

Nous concluons en proposant aux acteurs des filières et des territoires, ainsi qu'aux pouvoirs publics, quelques leviers d'action favorables à la restauration d'une dynamique de diversification.

Title : Supporting crop diversification pathways of farms and territories. Case of three European regions

Keywords : agronomy, practice change pathways, value chains, advisory services, supply systems, learning

Abstract : Crop diversification is a major issue for agroecology, but it comes up against a situation of lock-in around a few dominant crop species. The objective of the thesis is to identify ways out of these locked-in situations, drawing on existing crop diversification experiences in three regions in France, Italy and Sweden. By identifying crosscutting diversification mechanisms in these three regions, this work shows the diversity of ways to diversify and of the associated processes.

The analysis of the pathways of farms that diversified their crops enables us to highlight farmers' motivations to diversify and the combinations thereof. The diversity of these motivations and of the resources mobilized by farmers during their pathways lead to diversification processes of varying nature and intensity.

At the territorial level, we characterize different types of crop supply systems through which diversification crops are marketed. The characterization of these systems allows us to understand the relationship between the strategies of downstream firms and territorial dynamics of diversification, and to show the importance of the complementarity of crop supply systems for crop diversification at the territorial level.

Finally, we shed light on the learning situations and processes of farmers who diversify. These evolve over the course of diversification pathways, depending on the object of learning, but also on the expectations of farmers with respect to crop diversification, and on the crop supply systems in which they engage.

We conclude by proposing to value chain actors and regional actors, as well as to policy-makers, some levers of action to promote the re-establishment of a diversification dynamic.