



École Supérieure d'Agriculture d'Angers
55 rue Rabelais Adresse
49007 ANGERS

INRA Bâtiment EGER
Avenue Lucien Brétignières
78850 THIVERVAL-GRIGNON

Maîtres de stage :
Marie-Hélène Jeuffroy (UMR Agronomie)
Jean-Marc Meynard (UMR SADAPT)

PRATIQUES DES ASSOCIATIONS PLURISPECIFIQUES A BASE DE LEGUMINEUSES A GRAINES CHEZ DES AGRICULTEURS INNOVANTS



Association triticale-pois-féverole 06/2015
© Agriculteur du Calvados

Mémoire de Fin d'Études
Promotion 2010

Alice Lamé
Élève ingénieure-ESA

Patron du mémoire: G. Corre-Hellou

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

AUTEUR : Alice Lamé

Promotion : 2010

Patron de mémoire : Guenaëlle Corre-Hellou

Signalement du mémoire :

PRATIQUES DES ASSOCIATIONS PLURISPECIFIQUES A BASE DE LEGUMINEUSES A GRAINES CHEZ DES AGRICULTEURS INNOVANTS

60 pages, 15 figures, 5 tableaux, 94 sources bibliographique, 1 Annexe

Mots-clés : Associations plurispécifiques, légumineuses à graines, traque aux innovations, pratiques des agriculteurs

RESUME D'AUTEUR	
PLAN INDICATIF	Dans un premier temps, nous nous attacherons à comprendre l'importance de la diversification des systèmes de culture, via l'insertion des légumineuses, l'opportunité qu'offrent les associations de cultures pour y parvenir. Ensuite, nous présenterons la méthode employée pour repérer les agriculteurs et l'analyse des pratiques. Puis, les résultats seront présentés et interprétés, pour finir avec une typologie des associations. Ils seront ensuite discutés avant d'ouvrir sur les perspectives de l'étude.
BUTS DE L'ETUDE	Le premier enjeu de cet article est de décrire et analyser la diversité des associations de cultures à base de légumineuse à graines inventées par des agriculteurs. Le deuxième enjeu est de mettre à l'épreuve et améliorer la démarche de traque aux systèmes innovants, de mise au point récente et pas encore stabilisée.
METHODES & TECHNIQUES	Cette étude repose sur la démarche de la « traque aux innovations » reposant sur le repérage d'agriculteurs innovants, des enquêtes auprès d'eux pour décrire leurs pratiques et leurs motivations, une analyse systémique de ces innovations, et une mise en forme pour faciliter le partage de ces nouvelles connaissances. Nous avons choisi de nous centrer sur les agriculteurs du grand Ouest de la France. Sur la base de la caractérisation de la diversité des associations rencontrées, et de l'analyse des logiques agronomiques qui les déterminent, une typologie des associations a été réalisée.
RESULTATS	Une grande diversité d'associations a été rencontrée. Les pratiques sont étroitement liées à des logiques agronomiques et au type de débouché. Les agriculteurs se servent des traits particuliers des associations à base de légumineuses pour en tirer des services. Des pratiques originales semblent validées par leur récurrence chez de nombreux agriculteurs de l'échantillon, comme l'assouplissement des délais de retour relatifs aux associations, tandis que d'autres rencontrées de manière plus ponctuelle (mélanges variétaux), devraient faire l'objet de recherches plus approfondies.
CONCLUSION	Un état des lieux de la diversité des associations à graines a été fait, des pratiques innovantes ont été repérées, mais beaucoup reste à découvrir. De nouvelles pistes d'expérimentation et de recherche ont été identifiées, tandis que d'autres ont été confirmées. La démarche de traque a fait ses preuves et a été enrichie d'étapes mais reste à stabiliser.

BIBLIOGRAPHICAL NOTE

AUTHOR : Alice Lamé

Promotion : 2010

Referent professor : Guénaëlle Corre-Hellou

Description of the report :

GRAIN LEGUMES INTERCROPS PRACTICES OF INNOVATIVE FARMERS

60 pages, 15 figures, 5 tables, 94 bibliographic sources, 1 appendice

Keywords : grain legumes intercrops, innovative cropping system, innovation tracking

AUTHOR'S ABSTRACT

INDICATIVE
PLAN

First of all, we will focus on the understanding of the diversification of cropping systems, through the legume crop insertion and the intercrop opportunities to achieve it. We will present then the method developed to find farmers and to analyze their practices. After that, results will be presented and interpreted before the presentation of a typology of intercrops. These results will be discussed before the proposition of future prospects.

AIMS OF THE
STUDY

The first goal of this study is to describe and to analyze grain legumes intercrop diversity invented by farmers. The second goal is to test and to improve the "tracking of innovative systems" approach which is adopted recently and not consolidated.

METHODS &
TECHNIQUES

This study is based on a "tracking innovations" approach which rely on innovative farmers, field surveys to describe their practices and motivation, systematic analysis and a synthesis of their innovations in order to ease the distribution of new knowledge. We decided to focus on farmers from the Western part of France. A typology of intercrop has been made using Principal Components Analysis (PCA) from the characterization of intercrop diversity and the analysis of agronomic strategies.

RESULTS

Farmers use particular traits of grain legume intercrops to benefit from services. Original practices seem to be approved by several farmers as well as the flexibility of intercrop return delay whereas others occasional practices (mixing of varieties, pests' observations) should be more studied.

CONCLUSION

An overview of the diversity of grain legumes intercrops has been made. New practices have been detected but many have to be discovered. New paths of experimentation and research have been identified whereas other have been validated. The "tracking" approach has proven itself and has been enhanced with new steps but there is still a need to consolidate it.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier l'ensemble des acteurs de ce stage. Tous, par leur suivi, leur appui, leur participation et leurs conseils, ont contribué à la bonne réalisation de cette étude et à la rédaction de ce mémoire.

Merci à mes maîtres de stage : Marie-Hélène Jeuffroy et Jean-Marc Meynard, pour leur bonne humeur, leurs remarques pertinentes et leur disponibilité tout au long du stage pour répondre à mes questions. Ils ont contribué à faire de ce stage une riche expérience préprofessionnelle.

Merci à l'ensemble de mes collègues de bureau et des unités SADAPT et AGRONOMIE, qui ont fait de ce stage une riche expérience humaine.

Je souhaite également remercier Guénaëlle Corre-Hellou, qui a su tout au long du stage, m'écouter, répondre à mes questions pour mener à bien cette étude.

Un merci tout particulier aux personnes sans qui le travail réalisé n'aurait pas eu de contenu :

- Aux conseillers qui ont accepté de m'accorder un peu de leur précieux temps, pour leur collaboration.
- Aux agriculteurs qui m'ont fait l'honneur de partager avec moi, un peu de leurs passions, de leurs expériences, le temps d'un entretien.

Enfin, j'adresse un remerciement sincère à ma famille et à mes amis, qui me soutiennent dans tous mes projets.

TABLE DES MATIERES

Table des figures et tableaux.....	I
Table des abréviations	II
Introduction.....	1
PARTIE A : CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE	2
1 LA DIVERSIFICATION DES SYSTEMES DE CULTURES : DES ENJEUX AUX SOLUTIONS.....	2
1.1 De la simplification des systèmes de culture vers une agriculture plus durable .2	
1.2 Les légumineuses : des cultures d'intérêt dont les surfaces cultivées progressent peu	3
1.2.1 INTERETS DE LA CULTURE DE LEGUMINEUSE	3
1.2.2 DES SURFACES DE PRODUCTION DE LEGUMINEUSES EN BAISSSE ...	3
1.2.3 LES DIFFICULTES DE PRODUCTION DES LEGUMINEUSES EN CULTURE PURE	4
1.3 Les associations de culture à base de légumineuses: les processus à l'œuvre.4	
1.3.1 LES PROCESSUS EN ŒUVRE POUR L'ACQUISITION DE RESSOURCES ABIOTIQUES	5
1.3.2 INTERACTION DES ASSOCIATIONS AVEC LES FACTEURS BIOTIQUES	7
1.4 Intérêt des associations soulignés par les agriculteurs.....	8
2 ETUDIER LES PRATIQUES DES AGRICULTEURS POUR LES CULTURES ASSOCIEES.....	9
2.1 Les agriculteurs : sources d'innovations	9
2.2 Une démarche originale pour étudier les pratiques des agriculteurs : la traque aux innovations.....	9
2.2.1 LA PHASE DE REPERAGE	9
2.2.2 DESCRIPTION ET ANALYSE DES SYSTEMES DE CULTURES ALTERNATIFS.....	10
2.2.3 CARACTERISATION ET EVALUATION DES SYSTEMES DE CULTURES INNOVANTS	10
2.2.4 PRODUCTION DE RESSOURCES POUR L'ACTION ET LE CONSEIL ...	11
2.3 La mission de l'INRA d'accompagnement des innovations agricoles.....	11
2.4 De la demande de l'INRA à la construction de la problématique	12
2.4.1 LES ATTENTES DES UMR « AGRONOMIE » ET « SAD-APT » FACE AU STAGE.....	12
2.4.2 LES ENJEUX : APPREHENDER LA DIVERSITE DES PRATIQUES DES AGRICULTEURS POUR LES CULTURES ASSOCIEES	12
2.4.3 PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES.....	13
PARTIE B : MATERIELS ET METHODES.....	14

1	PHASE DE REPERAGE	15
1.1	Définition des pratiques traquées	15
1.2	Enquêtes auprès de conseillers et échantillonnage	15
1.3	Enquêtes auprès des agriculteurs	16
1.4	Description et analyse agronomique des pratiques	18
	PARTIE C : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	20
1	DES MOTIVATIONS DIVERSES POUR CULTIVER DES ASSOCIATIONS.....	20
2	DES CULTURES ASSOCIEES AVEC DES PRATIQUES TRES DIVERSIFIEES...	22
2.1	Panorama de la diversité des pratiques rencontrées	22
2.1.1	UNE DIVERSITE DE COMBINAISONS D'ESPECES	22
2.1.2	UNE DIVERSITE DE TECHNIQUES PRATIQUEES	26
3	DES ASSOCIATIONS AVEC DES LOGIQUES DIFFERENTES	37
3.1	Analyse de la logique des systèmes associés	37
3.1.1	INFLUENCE DES CONDITIONS PEDOCLIMATIQUES SUR LES ASSOCIATIONS	37
3.1.2	LES LOGIQUES D'INSERTION DES ASSOCIATIONS DANS LES ROTATIONS	37
3.1.3	RAISONNEMENT DES ASSOCIATIONS ETROITEMENT LIE A LA LUTTE CONTRE LES ADVENTICES.....	40
3.1.4	DES LOGIQUES DE CONDUITE DES ASSOCIATIONS POUR PREVENIR LES PRESSIONS EN MALADIES ET RAVAGEURS	44
3.1.5	RAISONNEMENT DES ASSOCIATIONS LIE AU TRAVAIL.....	46
3.1.6	LES PRATIQUES DES ASSOCIATIONS ADAPTEES AU DEBOUCHE ...	48
4	TYPOLOGIE DES ASSOCIATIONS	51
	PARTIE D : DISCUSSION ET LIMITES DE L'ETUDE	55
5	DES RESULTATS ORIGINAUX	55
5.1	Une diversité inattendue.....	55
5.2	Des pratiques originales validées par un consensus d'acteurs	55
5.3	Des pratiques et observations ponctuelles à étudier.....	56
5.4	Quel impact sur les connaissances actuelles	57
5.5	Une méthode originale en cours de mise au point.....	58
	Conclusion	60
	Liste bibliographique.....	i
	Annexe : le guide d'entretien	a

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

Table 1 : REPARTITION DES MOTIVATIONS PRINCIPALES QUI AMENENT LES AGRICULTEURS A CULTIVER DES ASSOCIATIONS.....	21
Table 2 : REPARTITION DES 8 ASSOCIATIONS COMPLEXES (DE 3 A 7 ESPECES) ETUDIEES.	23
Table 3 : ASSOCIATIONS BINAIRES MENTIONNEES PAR LES CONSEILLERS CLASSEES PAR TYPE DE LEGUMINEUSE.....	24
Table 4 : COMPARAISON DU TEMPS DE TRAVAIL DES CULTURES ASSOCIEES PAR RAPPORT AUX CULTURES PURES.	46
Table 5 : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE L'ITINERAIRE TECHNIQUES DES 4 TYPES D'ASSOCIATIONS ETUDIEES.	54
Figure 1 : LES DIFFERENTES ETAPES DE LA TRAQUE SUIVIES LORS DE L'ETUDE .	14
Figure 2 : CARTE LOCALISANT LES CONSEILLERS ENQUETES POUR LA PHASE DE REPERAGE, SELON LEUR STRUCTURE.	16
Figure 3 : A : NOMBRE D'AGRICULTEURS IDENTIFIES COMME CULTIVANT DES ASSOCIATIONS GRACE A LA DEMULTIPLICATION DES RESEAUX. B : NOMBRE D'AGRICULTEURS RETENUS POUR LA PHASE D'ENQUETE. .	17
Figure 4 : PROFILS DES AGRICULTEURS ENQUETES. LE NOMBRE D'AGRICULTEUR REPRESENTANT LES CATEGORIES EST MENTIONNE.....	18
Figure 5 : REPARTITION DES 30 ASSOCIATIONS BINAIRES ETUDIEES.	22
Figure 6 : DIFFERENTES MODALITES DE SEMIS DES ASSOCIATIONS DE CULTURES RENCONTREES CHEZ LES AGRICULTEURS.	26
Figure 7 : DIVERSITE DES DENSITES DES ASSOCIATIONS PRATIQUEES CHEZ LES AGRICULTEURS :.....	28
Figure 8 : DIVERSITE DES DENSITES GLOBALES EN KG/HA QUE L'ON PEUT TROUVER CHEZ UN MEME AGRICULTEUR C OU D.....	29
Figure 9 : DIVERSITE DU NOMBRE DE PASSAGES D'OUTILS POUR LE DESHERBAGE DES ASSOCIATIONS RENCONTRES LORS DES ENQUETES.....	31
Figure 10 : REGLES DE DECISION POUR LA FERTILISATION D'UNE ASSOCIATION DE CULTURES.....	32
Figure 11 : DIFFERENTES PRATIQUES PERMETTANT D'OBTENIR UNE RECOLTE PROPRE QUI MINIMISE LES BRISURES.	33
Figure 12 : RENDEMENTS MOYENS DES ESPECES ASSOCIEES (CEREALES ET LEGUMINEUSES) RENCONTREES (en qx/ha).	34
Figure 13 : SCHEMA ILLUSTRANT LA REPARTITION DES ETAPES DE TRI ET DE VENTE DES ASSOCIATIONS RENCONTREES.	35
Figure 14 : ENSEMBLE DES DETERMINANTS INFLUENÇANT LES CHOIX D'INSERTION DES CULTURES ASSOCIEES DANS LES ROTATIONS.....	37
Figure 15 : ENSEMBLE DES FACTEURS QUI PERMETTENT LA MAITRISE DE LA FLORE ADVENTICE D'UNE CULTURE ASSOCIEE.....	40
Figure 16 : RELATION ENTRE LE NOMBRE MOYEN DE DESHERBAGES ET UN INDICATEUR DE LA DENSITE DES ASSOCIATIONS.	43
Figure 17 : PRATIQUES DES AGRICULTEURS POUR UNE GESTION DES MALADIES ET RAVAGEURS EN CULTURE ASSOCIEE.	44

Figure 18 : CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES DEBOUCHES DES CULTURES ASSOCIEES ET LEURS AVANTAGES ET INCONVENIENTS.....	48
Figure 19 : ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALES DES ASSOCIATIONS SELON CINQ VARIABLES QUANTITATIVES : NOMBRE D'ESPECES, DATE DE SEMIS, FERTILISATION, NOMBRE MOYEN DE DESHERBAGE ET LA QUANTITE DE TRAVAIL.....	52

TABLE DES ABREVIATIONS

AB : Agriculture Biologique

AC : Agriculture Conventionnelle

ACP : Analyse en Composantes Principales

ADABIO : Association pour le Développement de l'Agriculture BIOlogique

CIVAM : Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural

CREAB : Centre Régional de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique

CAH: Classification Ascendante Hiérarchique

MASC: Multi-attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems

PAC : Politique Agricole Commune

SIE : Surfaces d'Intérêts Ecologique

INTRODUCTION

En France, dans un contexte où l'agroécologie est devenue l'un des objectifs du Ministère de l'Agriculture, différentes actions sont menées dans le milieu agricole pour tendre vers une agriculture plus durable qui allie des savoirs pluridisciplinaire, variés mais complémentaires comme l'écologie, l'agronomie et la sociologie. La prise en compte de tous les acteurs du milieu, des agriculteurs aux chercheurs est indispensable à ce processus pour avancer, accroître les connaissances et redessiner des agroécosystèmes durables. Une des solutions envisagées est de diversifier les systèmes de culture, notamment via l'insertion de légumineuses grâce à leur capacité à fixer l'azote de l'air. Cependant, en agriculture conventionnelle et surtout en agriculture biologique, la conduite des légumineuse à graines est soumise à de nombreux facteurs limitants, qui compliquent voir empêchent leur culture. Depuis longtemps, des agriculteurs du monde ont combiné les légumineuses à d'autres cultures pour profiter des services de chacune d'entre elles, aussi bien des cultures annuelles que pérennes. Mais cette pratique est minoritaire en France. La volonté d'augmenter les surfaces cultivées en légumineuses grâce aux associations nécessite de mutualiser l'ensemble des acteurs pour parvenir à faire évoluer les pratiques. La méthode de « la traque aux systèmes innovants » est un moyen pour repérer les innovations de terrain, et les analyser afin de compléter les références sur ces systèmes. L'objectif de cette étude est de rapporter les modalités et résultats d'une telle « traque » réalisée dans le grand ouest de la France.

PARTIE A : CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

1 LA DIVERSIFICATION DES SYSTEMES DE CULTURES : DES ENJEUX AUX SOLUTIONS

Face à la nécessité pour l'agriculture actuelle de se transformer en profondeur pour devenir plus durable (Hill et MacRey, 1995), la diversification des systèmes de culture est un point de passage obligé (Meynard et al., 2013). L'intégration des légumineuses dans les rotations est un moyen pour y parvenir. Les associations d'espèces permettent de cultiver ces légumineuses, avec des bénéfices supplémentaires par rapport aux cultures pures, notamment en agriculture biologique, tout en mettant en marche des processus complexes et prometteurs, qu'il faut étudier pour profiter des services qu'elles peuvent rendre à l'agriculture de demain.

1.1 De la simplification des systèmes de culture vers une agriculture plus durable

Dans un contexte actuel complexe avec des enjeux climatiques, démographiques et énergétiques, l'agriculture doit s'adapter en permanence. La sécurité alimentaire mondiale d'une population en forte croissance, la limitation des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole, la préservation de la biodiversité, l'amélioration de la qualité des eaux constituent des défis auxquels l'agriculture doit faire face. Depuis la seconde guerre mondiale, on a assisté à une intensification importante de l'agriculture, avec l'utilisation massive d'intrants et le développement de la mécanisation. Peu à peu, un processus de spécialisation des exploitations et des territoires est apparu entraînant une réduction du nombre d'espèces cultivées et un raccourcissement des rotations (Schott et al., 2010). La spécialisation et dissociation géographique des productions animales et végétales a été encouragée par l'évolution du prix de l'énergie, du progrès technique (Chatellier et Gaigné, 2012), par l'objectif d'augmentation de la productivité du travail par la spécialisation, et par la concentration des industries d'aval (Voisin et al., 2013).

La simplification des assolements et des rotations a augmenté les pressions de maladies, ravageurs et adventices sur les cultures, rendant obligatoire un usage intensif de produits phytosanitaires (Schott et al., 2010). De plus, la forte diminution des légumineuses dans les systèmes et l'intensification de ces derniers ont conduit à un accroissement de l'usage d'engrais de synthèse. Le recours à ces intrants a eu de nombreuses conséquences écologiques : réduction de la biodiversité, et en particulier des populations de pollinisateurs, accumulation de pesticides et de leurs métabolites dans les sols et les milieux aquatiques (Millenium Ecosystem Assessment, 2005 ; Meynard et al., 2013). Aujourd'hui, les externalités négatives de ces systèmes intensifs sont de plus en plus reconnues et les acteurs du milieu agricole cherchent des solutions alternatives vers une agriculture plus durable. La diversification des systèmes de culture dans le sens d'une diversification dans l'espace et dans le temps des espèces cultivées dans une exploitation agricole et/ou dans un territoire apparaît comme un levier d'action pour réduire l'usage des pesticides, herbicides, engrais de synthèse, et les nuisances environnementales associées à leur utilisation excessive (Meynard et al., 2013). La diversification de ces systèmes permettrait de valoriser les régulations biologiques des agroécosystèmes et ainsi de réduire l'usage des intrants. Les légumineuses, particulièrement prisées pour leur capacité à fixer l'azote atmosphérique via une symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote du genre *Rhizobium*, sont des cultures phares de plus en plus étudiées pour contribuer à cette diversification des systèmes de culture.

1.2 Les légumineuses : des cultures d'intérêt dont les surfaces cultivées progressent peu

1.2.1 INTERETS DE LA CULTURE DE LEGUMINEUSE

De nombreux travaux ont pu mettre en avant l'intérêt de la culture des légumineuses pour répondre aux changements globaux. En effet, l'insertion de légumineuses dans les systèmes de culture devrait permettre d'apporter des éléments de réponse à plusieurs composantes du changement global impactant la production (Munier-Jolain et Carrouée, 2003, Nemecek et al., 2008, Schneider et al. 2010, Jensen et Hauggaard-Nielsen, 2003).

L'impact sur le réchauffement climatique serait moindre du fait de la substitution de l'usage d'engrais par le processus de fixation symbiotique des légumineuses. En effet, les émissions de gaz à effet de serre (N_2O et CO_2) sont réduites sur les légumineuses par rapport aux cultures fertilisées (Rochette et Janzen, 2005 ; Nemecek et al., 2008 ; Jeuffroy et al., 2013). La diminution de la dépendance aux importations de soja participe également à diminuer les émissions de gaz carboniques liées aux transports (Carrouée et al., 2012 ; Cavaillès, 2009 ; Thiébeau et al., 2010).

Les légumineuses permettent de répondre également à des enjeux démographiques, nutritionnels et technico-économiques. En effet, elles sont une source importante de protéines, utilisable tant pour l'alimentation animale qu'humaine. (Voisin et al., 2013). De plus, la culture de légumineuses apporte une autonomie face à un marché mondial des plantes riches en protéines en forte évolution. Diversifier les ressources présente donc l'intérêt de ne pas devoir compter seulement sur les importations de soja pour s'approvisionner (Cavaillès, 2009). Les légumineuses peuvent ainsi contribuer à la transition agroécologique vers une agriculture et un système agroalimentaire durables (Voisin et al., 2103b).

1.2.2 DES SURFACES DE PRODUCTION DE LEGUMINEUSES EN BAISSSE

Cependant, malgré les intérêts de ces cultures, les surfaces progressent peu. Depuis les années 1960 en France et en Europe, une diminution significative des surfaces en légumineuses est observée et ce particulièrement dans les systèmes de grande culture (division des surfaces par 6 en 20 ans) (Cavaillès, 2010). Plusieurs raisons sont à l'origine de cette diminution de surface des légumineuses fourragères et à graines.

Historiquement, le déclin des légumineuses fourragères a eu lieu dans les années 60, lors de la révolution fourragère qui avait pour objectif de répondre aux forts besoins d'après-guerre en produits agricoles, notamment carnés (Cavaillès, 2009). Par ailleurs, le modèle d'alimentation à base de maïs ensilage et de tourteaux de soja s'est propagé, le maïs étant plus facile à récolter que les légumineuses fourragères, il assure qualité et sécurité fourragère à l'éleveur, dans un contexte économique défavorable aux rations hivernales à base de foin de légumineuses et céréales (Cavaillès, 2009).

Les légumineuses à graines étaient à l'origine cultivées pour l'alimentation humaine à cause de leur richesse en protéines. Avec le changement des pratiques alimentaires incorporant de plus en plus de produits carnés, et très peu de soutien politique et économique vis-à-vis de ces légumes secs de plein champ, les surfaces sont passées de 161 000 ha en 1960 à, en moyenne, 13 700 ha de 2003 à 2007 (Cavaillès, 2009). Dans les années 80, une forte volonté politique réoriente vers le développement des protéagineux, notamment le pois, principalement pour l'alimentation animale afin de diminuer la dépendance au soja américain (Cavaillès, 2009). La réforme de la PAC de 1992 enclenche le recul des surfaces cultivées en légumineuses à graines à cause d'un quasi-arrêt des aides économiques et du soutien politique à ces cultures.

Un regain d'intérêt politique et économique est cependant observé pour les légumineuses. En effet, le bilan de santé de la PAC de 2008-2009 confirme la réduction des soutiens spécifiques accordés aux céréales ; le prix des matières premières (et donc matières azotées) est toujours en hausse ; au niveau politique, deux textes de loi promouvant la production de protéines végétales en France ont été votés sur les enjeux de sécurité alimentaire (Cavaillès, 2009). De plus, pour la première fois en 2015, la surface en légumineuses entre dans les règles de conditionnalité du premier pilier de la PAC ; même si les statistiques ne sont pas encore disponibles, on sait que les surfaces en pois et féverole ont augmenté cette année. Il y a également des aides couplées à la production de protéagineux (pois, féverole, lupin doux), et les mélange céréales-protéagineux sont éligibles s'il y a plus de 50 % de protéagineux dans le mélange semé en nombre de graines (AFOCG, 2015). Les légumineuses peuvent également être comptabilisées dans les Surfaces d'Intérêt Ecologique (SIE). Mais ces signes positifs suffiront-ils pour renverser la situation ?

1.2.3 LES DIFFICULTES DE PRODUCTION DES LEGUMINEUSES EN CULTURE PURE

Malgré les avantages agronomiques des légumineuses, celles-ci manquent d'attractivité économique du fait de leur manque de compétitivité par rapport à d'autres cultures, en relation avec le prix et le rendement (Cavaillès, 2009). La marge brute d'un pois est toujours inférieure à celle de la plupart des autres grandes cultures (Schneider et al., 2010). D'autres difficultés apparaissent comme la réticence des agriculteurs à conduire ces cultures pour des raisons techniques, avec des récoltes difficiles, une irrégularité de production liée aux stress biotiques et abiotiques ou encore une rentabilité estimée comme trop faible du fait de la non-prise en compte de leurs effets précédents (Schneider et al. 2010). Le rendement des légumineuses est intrinsèquement plus faible que celui des céréales, du fait des coûts énergétiques à la fois de la production de grains riches en protéines et de la fixation symbiotique (Voisin et al., 2002), qui entre en concurrence avec la croissance de la culture. Des maladies et adventices mal maîtrisées représentent également un frein. A cause de retour trop fréquent de pois sur les mêmes parcelles dans les années 80 et 90, certaines sont infestées par le champignon tellurique *Aphanomyces euteiches* contre lequel il n'existe aucune solution efficace pour le pois protéagineux, fourrager, la lentille, autre que d'arrêter cette culture pendant de nombreuses années, sauf pour les variétés de féverole disponibles en France qui sont résistantes (Moussart et al., 2011). Cependant, les légumineuses permettent une diversification, qui à l'échelle de la rotation, va diminuer la pression adventice, mais qui à l'échelle annuelle reste limitée du fait que les légumineuses sont réputées peu compétitives contre les adventices (Corre-Hellou et Crozat, 2005).

La culture pure des légumineuses, sensible à de nombreux facteurs limitants, est difficile à cultiver. Les associations de cultures incluant une légumineuse sont une solution pour diminuer ces problèmes et permettre d'augmenter les surfaces en légumineuses, pour diversifier les systèmes de culture et effectuer une transition agroécologique.

1.3 Les associations de culture à base de légumineuses: les processus à l'œuvre

Les associations correspondent à la culture simultanée de deux espèces ou plus sur la même surface pendant une durée significative, sans pour autant qu'elles soient nécessairement semées et récoltées à la même période (Willey, 1979). La volonté d'augmenter la culture de légumineuses via les associations de culture nécessite de mieux comprendre leur fonctionnement. Les cultures d'une association intégrant des légumineuses, ont des interactions particulières, tant au niveau des ressources abiotiques que biotiques.

1.3.1 LES PROCESSUS EN ŒUVRE POUR L'ACQUISITION DE RESSOURCES ABIOTIQUES

1.3.1.1 Complémentarité de niche

La présence de deux espèces différentes résulte généralement en des architectures racinaires et aériennes différentes et des physiologies distinctes qui peuvent être complémentaires. La complémentarité de niche correspond à l'exploitation de ressources différentes (Garnier et Navas, 2011) menant à une réduction de la compétition interspécifique. La partition des ressources entre les espèces associées a lieu quand elles n'accèdent pas aux mêmes pools ou alors qu'elles l'utilisent de manière différée dans l'espace ou le temps (Fridley, 2001).

i) Différence d'accès aux nutriments et à l'eau

Les associations à base de légumineuses sont un exemple typique de différence d'accès aux ressources azotées entre des espèces fixatrices et non fixatrices d'azote. Les deux espèces ont accès au pool d'azote minéral du sol et seule la légumineuse peut accéder au pool d'azote atmosphérique grâce à la fixation symbiotique. En situation de compétition pour l'azote du sol, les légumineuses augmentent le pourcentage de N₂ fixé dans leur nutrition azoté (Naudin et al., 2010). La quantité de N₂ fixé dépend de la plante associée, de ses besoins en relation avec la période du cycle, de sa compétitivité pour l'absorption de N et de la disponibilité de l'azote du sol dans le cas d'une association céréales-légumineuses (Corre-Hellou et al., 2006, Naudin et al., 2010). Ainsi, dans le cas d'une association blé tendre-pois d'hiver, il a été observé que les légumineuses fixent plus d'azote atmosphérique en association que lorsqu'elles sont cultivées en pur (Naudin et al., 2010). Les céréales sont en effet plus compétitives vis-à-vis de l'azote inorganique du sol que les légumineuses à cause d'une croissance racinaire plus rapide et profonde et d'un plus grand besoin en N que la légumineuse (Corre-Hellou et al., 2005, Corre-Hellou et Crozat, 2005). Cette compétition pour l'azote inorganique du sol permet d'éviter l'inhibition de la fixation symbiotique qui a lieu quand la disponibilité en nitrate est importante dans les horizons du sol explorés par les racines (Naudin et al., 2010). Les capacités de fixation des légumineuses sont plus ou moins réversibles selon les conditions du milieu et notamment la disponibilité en nitrate au cours du cycle, et selon le stade phénologique de la culture (Naudin et al., 2011). L'utilisation complémentaire des ressources azotées est particulièrement intéressante en situation de systèmes de culture à bas intrants azotés comme l'agriculture biologique (Bedoussac et al., 2013). Ces éléments sont déterminants pour les performances de l'association comme le rendement et la teneur en protéine de la céréale (Bedoussac et al., 2014). En effet, avec une disponibilité en azote minéral du sol pour la céréale en association quasi identique à une céréale en pur grâce à la fixation symbiotique de la légumineuse (Bedoussac et Justes, 2010), et un rendement pour la céréale souvent inférieur à celui de la culture pure, la disponibilité en azote par plante de céréale est donc supérieure en association. L'azote en plus grande quantité mobilisable dans les grains permet d'augmenter la teneur en protéines par rapport à une céréale pure cultivée avec le même niveau de fertilisation (Jensen, 1996).

Le même phénomène de complémentarité de niche est observé pour des nutriments qui existent dans des pools biogéochimiques différents et qui sont utilisés de manière différenciée par des espèces (Justes et al., 2014) comme le phosphore et l'eau. Pour l'eau, cela s'explique par le fait que des espèces végétales peuvent absorber l'eau différemment en fonction du potentiel hydrique. Des espèces ont la capacité d'extraire l'eau très fortement liée aux particules de sol et

l'eau facilement disponible, et d'autres ne peuvent qu'absorber l'eau facilement disponible (Justes et al., 2014) et ont donc du mal à couvrir leurs besoins hydriques en cas de sécheresse.

ii) Différence d'accès dans l'espace et le temps

Les associations de culture sont aussi connues pour un usage complémentaire de l'espace quand les cultures ont des architectures aériennes et/ou racinaires différentes. Les profondeurs d'enracinement peuvent varier et permettre d'extraire des nutriments, de l'eau de différentes strates du sol (Hauggaard-Nielsen et Jensen, 2005). Cette partition spatiale des ressources du sol évolue dans le temps en fonction des dynamiques d'enracinement des différentes espèces et dépend des caractéristiques pédo-climatiques (Justes et al., 2014). L'orge, par exemple, a une évolution de son front racinaire plus rapide que celle du pois et les céréales en général représentent la plus grande part de la biomasse racinaire du mélange céréale-légumineuse (Corre-Hellou et Crozat, 2015). Les architectures aériennes qui s'organisent en strates verticales affectent la capture de la radiation solaire de manière positive ou négative. En effet, l'ombrage exercé par une plante plus haute ou avec une surface foliaire plus importante limite l'énergie lumineuse disponible pour l'autre espèce plus petite (Poggio, 2005 ; Justes et al., 2014 ; Carruba et al., 2008). L'architecture aérienne d'une espèce peut également profiter à une autre, comme dans le cas d'une céréale qui sert de tuteur à des légumineuses volubiles, limitant ainsi la verse par rapport aux cultures pures.

La complémentarité dans le temps des espèces permet un accès différé aux ressources abiotiques. Il peut exister un décalage au niveau des besoins en eau ou en nutriments des espèces végétales qui limite la compétition entre elles, tout comme le développement asynchrone des parties aériennes et/ou racinaires à cause de différences phénologiques (Justes et al., 2014).

1.3.1.2 *Facilitation pour le transfert d'azote et de phosphore*

La facilitation est un autre processus intervenant dans les associations de culture. Elle permet à une espèce d'augmenter la croissance ou la survie de l'autre espèce qui lui est associée (Callaway, 1995) en améliorant les conditions environnementales (disponibilité des ressources, température..). Ce processus particulier a surtout été étudié pour l'acquisition du phosphore et l'absorption d'eau. Les mécanismes sont soit directs de plante à plante, soit indirects via les interactions avec les communautés microbiennes du sol.

Il existe des transferts d'azote entre espèces fixatrices et non fixatrices d'azote, dont une partie minime vient de l'azote atmosphérique fixé par la légumineuse. L'espèce non fixatrice transfère elle aussi de l'azote vers la légumineuse. Ces transferts se font via la rhizodéposition des racines des plantes libérant des composés riches en azote (plus riches chez une légumineuse via la sénescence des nodosités), résultant de la dégradation des racines sénescentes, se déposant en fonction de la progression racinaire dans le sol (Fustec et al., 2010). Ces rhizodépôts peuvent être utilisés sous leur forme minérale ou organique après biotransformation microbienne (Justes et al., 2014). Cependant, ce processus est reconnu pour des associations pluriannuelles qui donnent le temps aux rhizodépôts de se bio-transformer, mais est controversé pour un pas de temps plus court comme les associations annuelles (Justes et al., 2014). De plus, les transferts dépendent fortement de l'entremêlement des racines des espèces associées, les rhizodépôts étant relativement labiles (Brauman et al., 2011), du turnover des racines et leur dynamique, de l'espèce et de la composition biochimique de la litière (Louarn et al., 2015).

Concernant la mobilisation du phosphore non disponible, la production d'exsudats racinaires ou de métabolites microbiens, la modification du pH de la rhizosphère permettent d'augmenter la

disponibilité du phosphore inorganique. Mais les mécanismes sont souvent conjugués (Betancourt et al., 2012). La facilitation a lieu en associant des espèces peu efficaces pour mobiliser le P non disponible avec une espèce efficace.

1.3.2 INTERACTION DES ASSOCIATIONS AVEC LES FACTEURS BIOTIQUES

1.3.2.1 *Couvert végétal complexe qui modifie les conditions de vie des insectes et parasites*

La diversité des plantes cultivées dans une parcelle modifie un certain nombre de facteurs biologiques, physiques et climatiques qui vont impacter les conditions de vie des êtres vivants présents.

i) Ravageurs et auxiliaires

Cette diversité végétale présentant des architectures, des variétés et biomasse aérienne différentes augmenterait les populations d'insectes prédateurs et de parasitoïdes sur une même parcelle par rapport à une culture monospécifique en impactant les ressources et le microclimat (Corre-Hellou et al., 2014). En effet, dans les associations de culture, les ressources nutritives sont plus diversifiées et peuvent donc favoriser les différents ravageurs et prédateurs. Mais la prédation des phytophages par les auxiliaires, comme le repérage de plantes hôtes par les ravageurs (Finch et Collier, 2000) peuvent être perturbés par le masquage ou modification des stimuli visuels (couleur, forme) et chimiques (profil olfactif modifié selon l'état sanitaire et physiologique) leur permettant habituellement de repérer les plantes ou proies. La gestion des cultures, comme le choix de la date de semis et de la densité (Naudin et al., 2010), des motifs de semis (Malézieux et al., 2009) et les conditions pédoclimatiques, en modifiant le couvert, impactent indirectement les régulations biologiques.

ii) Maladies cryptogamiques

Les expériences pour observer l'effet des associations de culture sur les maladies des cultures ont surtout été réalisées avec des associations céréales-légumineuses où l'on observe une réduction des intensités des épidémies des maladies foliaires ou racinaires (Corre-Hellou et al., 2014). L'efficacité du contrôle des maladies dépend beaucoup des espèces associées, des systèmes de culture, des dispositifs (proportion des espèces, l'alternance des cultures), et des conditions environnementales (intensité des épidémies...) (Corre-Hellou et al., 2014). Mais les interactions en jeu sont très complexes, associées à un manque de connaissance des mécanismes. Certains mécanismes en jeu comme la réduction de la densité des tissus sensibles à l'hôte, l'effet de barrière physique à la dispersion des spores, l'inhibition d'un pathogène via des molécules allélopathiques sont liés à l'architecture plus complexe du couvert (Corre-Hellou et al., 2014). D'autres mécanismes influent indirectement via la modification du microclimat (température, humidité, vent).

1.3.2.2 *Couvert végétal complexe plus compétitif vis-à-vis des adventices*

Les associations de cultures présentent plusieurs intérêts pour maîtriser l'enherbement. Le rajout d'un couvert dans une culture principale permet de créer des conditions défavorables à la germination et à la levée des adventices grâce à l'ombrage de la plante de couverture limitant le rayonnement reçu par les adventices (Bedoussac et al., 2013 ; Corre-Hellou et al., 2014), ou créant un effet barrière ou en libérant des exsudats racinaires allélopathiques (Xuan et al., 2003). Le peuplement végétal entre également en compétition avec les adventices pour les ressources nutritives comme l'azote (Bedoussac et al., 2013). L'association d'espèces complémentaires pour des ressources sur la même parcelle entre également en compétition avec les adventices en limitant la disponibilité des ressources (Corre-Hellou et al., 2014). La réduction des périodes de sol nu ou avec une faible couverture permet également de réduire les périodes favorables au développement des adventices ou de faciliter la mise en place d'une espèce lente à s'installer (Corre-Hellou et al., 2014). Enfin, il est possible de réduire les infestations de plantes adventices via l'installation d'une plante libérant des substances allélopathiques ciblant ces plantes parasites.

Cependant, se posent en pratique des difficultés pour la gestion des adventices avec des cultures associées telles que la difficulté à trouver des molécules herbicides homologuées pour les deux espèces en agriculture conventionnelle. En agriculture biologique, une des problématiques est d'ajuster l'arrangement spatial du peuplement végétal pour favoriser le désherbage mécanique.

1.3.2.3 Interaction entre l'association végétale et les organismes du sol

Les organismes du sol (mycorhizes, vers de terre...) entrent également en jeu et peuvent modifier indirectement les processus (compétition, complémentarité, facilitation) et les équilibres mentionnés entre espèces. Certaines bactéries peuvent stimuler le développement racinaire, modifier l'architecture et donc impacter les interactions dans les différents processus (Mantelin et Touraine, 2004). Les associations peuvent également modifier les populations et les communautés microbiennes. Les décomposeurs de la matière organique (par exemple les vers de terre, collemboles) influencent également la croissance des plantes, le développement de leurs organes végétatifs et les communautés microbiennes en augmentant la disponibilité des nutriments (Kreuzer et al., 2004).

1.4 Intérêt des associations soulignés par les agriculteurs

De nombreux services rendus par les associations de cultures sont déjà exprimés par des agriculteurs, mais rarement décrits dans des articles scientifiques. Par exemple, pour des agriculteurs dans un contexte de ressources en terre limité, la motivation principale pour la culture des associations est l'utilisation optimale de l'espace qui se répercute sur une augmentation du revenu (Feike et al., 2010). Plus généralement, les associations sont mentionnées, surtout en agriculture biologique comme permettant de diminuer les maladies et ravageurs (Feike et al., 2010 ; Pelzer et al., 2014), de réduire la verse, d'augmenter et de stabiliser le rendement face aux aléas, de limiter le développement des adventices, et de diminuer l'utilisation d'intrants (azotés et chimiques en agriculture conventionnelle) (Pelzer et al., 2014). Les associations permettraient également d'améliorer la qualité des grains (taux de protéines) et des fourrages (Pelzer et al., 2014). La souplesse dans le choix de la récolte en grain ou en ensilage est aussi appréciée (Pelzer et al., 2014). Tout le potentiel que représente la connaissance des pratiques des agriculteurs et de ces savoirs empiriques n'est cependant pas assez exploité.

Mais les filières sont encore peu organisées pour collecter les associations, et cela n'encourage pas les agriculteurs à adopter les associations de cultures. En effet, il y a des difficultés logistiques de collecte des associations légumineuses-céréales, avec des coûts de triage

et de gestion des lots en supplément par rapport à des cultures pures, pas toujours compensés par les gains de rendement totaux des cultures associées (Bousseau 2009 ; Bedoussac et al., 2013).

2 ETUDIER LES PRATIQUES DES AGRICULTEURS POUR LES CULTURES ASSOCIEES

Certains agriculteurs innovants cultivent des associations de cultures. Le recueil et l'analyse de leurs pratiques, ainsi que des savoirs empiriques qui les sous-tendent, nécessitent une méthodologie particulière. La confrontation de ces connaissances avec celles fournies par les centres de recherche et les organismes techniques peut conforter des hypothèses et en ouvrir d'autres.

2.1 Les agriculteurs : sources d'innovations

Il est profitable de diversifier les sources de connaissances et de reconnaître l'expertise des agriculteurs pour mettre en valeur leurs savoirs et capacités d'observation des agroécosystèmes pour les combiner avec les connaissances actuelles afin de se diriger vers une agriculture plus durable. Par exemple, il est possible d'utiliser les régulations biologiques pour gérer les agroécosystèmes, l'un des principes de l'agroécologie (Doré et al., 2011). Les agriculteurs sont très inventifs mais leurs innovations ne sont pas souvent diffusées ni analysées, sous estimant ainsi l'intérêt de ces savoirs empiriques pour alimenter de nouvelles recherches, reconcevoir les systèmes agricoles (Altieri, 2004), et favoriser leur adoption par d'autres agriculteurs.

2.2 Une démarche originale pour étudier les pratiques des agriculteurs : la traque aux innovations

L'objectif de la traque est de repérer des innovations techniques, systémiques ou organisationnelles conçues par des agriculteurs, d'en caractériser les performances économiques et environnementales et d'analyser les conditions d'expression de ces performances (Meynard, 2014). Cette méthodologie se déroule en quatre étapes : (i) repérage, (ii) description et analyse, (iii) caractérisation et évaluation, (iv) production de ressources pour l'action et le conseil.

2.2.1 LA PHASE DE REPERAGE

Pour le repérage des systèmes de culture innovants, un cadre de travail est essentiel pour construire un cahier des charges permettant d'explorer la diversité des systèmes innovants intéressants pour la question posée. Cette étape est exigeante en temps et moyen, pour y parvenir correctement (Reau, 2014). Un système atypique peut être défini par une expertise locale, par un collectif d'experts ou via l'exploration, de proche en proche, de réseaux d'experts. Il peut également être comparé au système « dominant » de la zone d'étude. Pour Salembier et Meynard (2013) en Argentine, les systèmes retenus étaient ceux dont le producteur affirmait premièrement qu'ils répondaient à des objectifs autres que ceux de l'optimisation du résultat économique à court terme, et deuxièmement justifiaient par ces objectifs particuliers des pratiques s'éloignant de celles du système dominant (succession avec du soja tous les ans...). On peut aussi sélectionner les

systèmes atypiques à partir de leurs performances. Par exemple, pour Petit et al. (2012), un des critères définissant le caractère « économe » d'un système de culture innovant était un Indice de Fréquence de Traitement (IFT) inférieur à 70%. Le repérage de ces systèmes non conformes peut se réaliser avec une diversité de démarches, comme l'exploration d'une zone, d'un réseau d'acteurs, d'une base de données, ou de groupe d'agriculteurs. Les conseillers chargés de l'identification des agriculteurs pour étudier leurs systèmes de culture innovants devront être curieux vis-à-vis des originalités observées et méfiants vis-à-vis des conformistes (Reau, 2014). Meynard (2014) insiste, pour l'étape d'identification des systèmes alternatifs ou atypiques par rapport au système dominant, sur l'exploration des réseaux d'acteurs, l'importance des contacts obtenus de bouche à oreille pour élargir et diversifier les entrées des réseaux formels ou informels. Les prises de contact peuvent se faire avec des entretiens semi-directifs pour Salembier et Meynard (2013), Petit et al. (2012), Feike et al, (2010) ou des entretiens téléphoniques (Salembier, 2014).

2.2.2 DESCRIPTION ET ANALYSE DES SYSTEMES DE CULTURES ALTERNATIFS

La deuxième étape consiste à décrire les systèmes de culture alternatifs et les analyser pour comprendre leurs modes de pilotage et de gestion à partir de l'historique des interventions culturelles, et de l'explicitation, par les agriculteurs, des choix stratégiques et tactiques, des décisions de long terme et des adaptations ponctuelles (Petit et al., 2012 ; Feike et al, 2010). Dans le cas de Petit et al. (2012), les enquêteurs réalisaient au minimum trois entretiens semi-directifs successifs avec des observations de parcelles en compagnie des agriculteurs. Une progression a été observée au fur et à mesure des entretiens dans la compréhension du système (Petit et al., 2012). Concernant Salembier et Meynard (2013), seuls les agriculteurs ayant répondu aux critères de sélection étaient rencontrés de nouveau jusqu'à l'obtention d'une finesse de description des pratiques nécessaires au calcul des indicateurs d'évaluation retenus et à la compréhension des raisons de leur mise en œuvre (1 à 4 rencontres). L'analyse de la logique des systèmes permet de comprendre la diversité des démarches. Cette analyse peut se faire en explicitant les critères de satisfaction du producteur, en explicitant la logique du système de culture et/ou d'exploitation avec un schéma décisionnel pour chacun des types de résultats agronomiques attendus, comme la maîtrise des bio-agresseurs, la maîtrise de l'alimentation et des pollutions azotées, l'utilisation des ressources de l'exploitation, l'atteinte de critères de satisfaction majeurs...(Meynard, 2014). Il est aussi possible de comparer les systèmes entre eux, les pratiques entre parcelles, entre agriculteurs, entre régions, par rapport à une pratique de référence. La construction d'une typologie, regroupant dans un même type les systèmes ayant des logiques techniques comparables, peut être utile (Meynard, 2014).

2.2.3 CARACTERISATION ET EVALUATION DES SYSTEMES DE CULTURES INNOVANTS

La caractérisation et l'évaluation des performances des systèmes de culture originaux pratiqués sont réalisées sur des critères pertinents, faciles à obtenir, compréhensibles et non redondants (Debaeke et al, 2008). La performance était définie par rapport aux trois piliers du développement durable (économique, environnemental et sociologique) pour Petit et al. (2012). L'évaluation multicritère s'est faite avec l'outil de caractérisation CRITER (Fortino et al, 2010) et le modèle MASC 1.0 (Sadok et al, 2008). La caractérisation par critère permet d'identifier les points forts, les points faibles et les pistes de progrès sur les systèmes de culture étudiés (Petit et al., 2012). La notion de réussite de l'agriculteur, de satisfaction par rapport au système de culture, est

essentielle pour la généralisation des systèmes étudiés et pour piloter une amélioration continue (Reau, 2014 ; Feike et al.2010). En-effet, seuls les systèmes correspondant aux exigences des agriculteurs seront capables de perdurer (Feike et al., 2010). C'est pourquoi les indicateurs retenus par Salembier et Meynard (2013) combinent des indicateurs de performance standard permettant la comparaison avec le modèle dominant et ceux exprimés par les producteurs mis en avant dans le choix de leurs pratiques culturales. Cela montre que les indicateurs préenregistrés des outils ne contiennent pas nécessairement les indicateurs jugés essentiels par certains agriculteurs (Salembier et Meynard, 2013). Les indicateurs pour Salembier et Meynard (2013) n'ont pas été agrégés par des outils d'analyse multicritères mais comparés, par typologie d'exploitations, sous forme de schéma radar pour favoriser la discussion entre des acteurs avec des visions différentes plutôt que de hiérarchiser les systèmes des plus durables aux moins durables. Il est également possible de croiser les points de vue des agriculteurs, des chercheurs et autres acteurs du milieu.

2.2.4 PRODUCTION DE RESSOURCES POUR L'ACTION ET LE CONSEIL

Enfin, la dernière étape a pour objectif de produire des ressources pour l'action et le conseil. En vue de produire des références, c'est-à-dire une information mobilisable pour agir, de manière simple, rapide et explicite, construite par un tiers et contextualisée (Sebillotte, 1978). Les observations et innovations des agriculteurs, fruits de leur expérience, sont souvent évaluées par rapport à la performance économique de leur exploitation et de critères propres à leur production (qualité, valeur alimentaire, rendement...) (Meynard, 2012). Pour diffuser ces nouveaux systèmes et pouvoir inspirer d'autres agriculteurs, il est indispensable de les redessiner pour qu'ils puissent s'adapter à d'autres contextes. C'est l'un des rôles de la recherche. Pour y arriver, il est possible de mettre en place une série d'indicateurs faciles à comprendre et à mesurer pour établir un diagnostic, ou de consulter des documents regroupant des innovations (pratiques, méthodologie, gestion) qui ont été analysées pour s'informer et s'en inspirer (Meynard (2012). Enfin, ces pratiques et observations peuvent amener de nouvelles idées, mettre en évidence des trous de connaissances à explorer et expérimenter pour les approfondir (Salembier, 2014 ; Feike et al, 2010).

La diffusion de l'innovation est un critère important à étudier afin d'adapter les outils à développer aux personnes concernées. Feike et al. (2010) étudiait les facteurs influençant la diffusion et l'adoption de ces pratiques innovantes et les processus de transfert de connaissance entre acteurs de la zone étudiée. Il n'est pas toujours facile pour des agriculteurs de faire les choses à contre-courant des pratiques établies. Pouvoir partager ces expériences avec d'autres, à travers des groupes de discussion par exemple, encourage l'adoption d'innovations (Lamine et al., 2009).

2.3 La mission de l'INRA d'accompagnement des innovations agricoles

Le rôle de la recherche agronomique, notamment l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), est de produire des connaissances scientifiques et d'accompagner l'innovation technique, économique et sociale dans les domaines de l'alimentation, de l'agriculture et de l'environnement, d'éclairer les décisions, de participer au débat entre la science et la société, développer la culture scientifique, former à la recherche et promouvoir une éthique et déontologie¹.

Le stage se déroule à l'INRA de Grignon à l'interface entre les UMR Agronomie et SADAPT (Science pour l'Action et le Développement, Activités Produits Territoires). L'unité d'Agronomie a pour objectif de contribuer à faire évoluer l'agriculture dans le sens d'une meilleure adéquation

¹ Institut.inra.fr/Missions

avec les attentes de la société. Pour cela, les recherches de l'équipe visent à concevoir et évaluer des systèmes de culture durables, en s'appuyant sur une approche intégrative du fonctionnement des agroécosystèmes². L'équipe Concepts de l'UMR SAD-APT vise à développer des concepts, des outils et des méthodes pour concevoir et évaluer de nouvelles organisations des systèmes agricoles conciliant les enjeux de production, d'environnement et de biodiversité. Elle explore les innovations techniques et organisationnelles dans les territoires et les filières en intégrant la diversité des acteurs, et les marges de manœuvre des agriculteurs³.

L'unité Agronomie a fortement contribué aux recherches sur les légumineuses et sur des travaux méthodologiques sur la conception et l'évaluation d'innovations techniques. Le projet ANR LEGITIMES, auquel participe l'INRA, s'intègre dans cette dynamique. L'objectif de ce projet de recherche participative est de construire et évaluer des scénarii territoriaux d'insertion de légumineuses dans les systèmes de culture, dans une optique d'une gestion plus durable des territoires mais aussi des ressources. Le projet LEGITIMES est mis en œuvre dans trois régions de France : Pays de la Loire, Bourgogne et Midi-Pyrénées.

2.4 De la demande de l'INRA à la construction de la problématique

2.4.1 LES ATTENTES DES UMR « AGRONOMIE » ET « SAD-APT » FACE AU STAGE

Dans les systèmes de grande culture, les associations impliquant au moins une légumineuse sont de nature très variée. Les modalités techniques appliquées à ces associations sont également diverses et dépendent en partie des services visés par le producteur pour l'association (Pelzer et al., 2014). La connaissance de cette diversité de pratiques chez les producteurs est une ressource importante pour la conception de nouveaux systèmes de culture.

Les enjeux sont de découvrir et valoriser des associations innovantes mises en place par des agriculteurs et les comprendre pour savoir comment les généraliser, dans une démarche d'aide à la conception de systèmes de cultures innovants. Le stage a deux objectifs, portés chacun par l'un des co-encadrants : (i) état des lieux de la diversité des associations, repérer des pratiques innovantes pour les mobiliser dans la conception, d'ouvrir de nouvelles pistes de recherche, d'expérimentation, de conforter des hypothèses etc, (ii) mettre à l'épreuve et améliorer la démarche de traque aux systèmes innovants, de mise au point récente et pas encore stabilisée.

2.4.2 LES ENJEUX : APPREHENDER LA DIVERSITE DES PRATIQUES DES AGRICULTEURS POUR LES CULTURES ASSOCIEES

La mission de ce stage est de repérer des agriculteurs en France en grande culture qui ont des systèmes qui sortent de la norme (les cultures pures) donc comportant des associations de cultures comportant au moins une légumineuse à graines .

Plus précisément, on cherche à repérer et à décrire une diversité de modes de conduite, stabilisés (par leur mise en œuvre depuis plusieurs années) et éprouvés (répondant de manière satisfaisante aux objectifs des agriculteurs), concernant une diversité d'associations à base de légumineuses à graines. On cherche alors à analyser le fonctionnement agronomique des associations rencontrées, identifier les objectifs visés par l'agriculteur, les critères de choix des différents actes techniques, les critères de performance des agriculteurs pour les différents systèmes. L'analyse agronomique vise alors à mettre en relation les services des légumineuses

² <http://www6.versailles-grignon.inra.fr/agronomie>

³ <http://www6.versailles-grignon.inra.fr/sadapt/Equipe-Concepts>

perçus par les agriculteurs, et les choix techniques réalisés pour y parvenir. L'analyse et l'évaluation de ces entretiens seront mobilisées dans le projet LEGITIMES lors des ateliers de co-conception de systèmes de culture innovants performants pour disposer d'information sur des pratiques innovantes d'agriculteurs concernant les associations de culture.

2.4.3 PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

Les éléments rassemblés dans l'ensemble de cette partie d'explication du contexte conduisent à formuler la question de recherche suivante :

Problématique : Quels sont les objectifs, pratiques et critères de performance des agriculteurs innovants par rapport aux associations plurispécifiques à base de légumineuse qu'ils mettent en œuvre, les services qu'ils en perçoivent et qui influencent leurs décisions ?

H1 : Une grande variabilité de motivations, de combinaisons de culture, de techniques culturales sera observée, en cohérence avec la diversité des objectifs que les agriculteurs en attendent.

H2 : Les services rendus par les associations sont en partie connus, mais les enquêtes révéleront d'autres services sous-estimés par la recherche, issus des observations des agriculteurs et de leur expérience.

H3 : Les critères de performance des agriculteurs seront spécifiques à chacun d'eux et différent, au moins partiellement, des critères utilisés dans la littérature scientifique.

PARTIE B : MATERIELS ET METHODES

« L'objectif de la traque aux systèmes agricoles innovants est de repérer des innovations techniques, systémiques ou organisationnelles conçues par des agriculteurs, d'en caractériser les performances économiques et environnementales et d'analyser les conditions d'expression de ces performances. » (Meynard, 2014). La démarche adoptée ici inspirée de celle mise en place par Salembier et Meynard (2013) comporte plusieurs étapes : (i) la définition des pratiques atypiques à traquer, (ii) le repérage des associations, (iii) la description des pratiques et leur analyse sur le plan agronomique. Les étapes d'évaluation multicritère et de production de ressources pour l'action et le conseil n'ont pas été menées (Figure 1). Le mot de la « traque » a été proposé par Salembier et Meynard (2013) pour illustrer la difficulté et le temps nécessaire à l'exploration des différents réseaux pour l'identification des systèmes de culture innovants, rares et peu visibles.

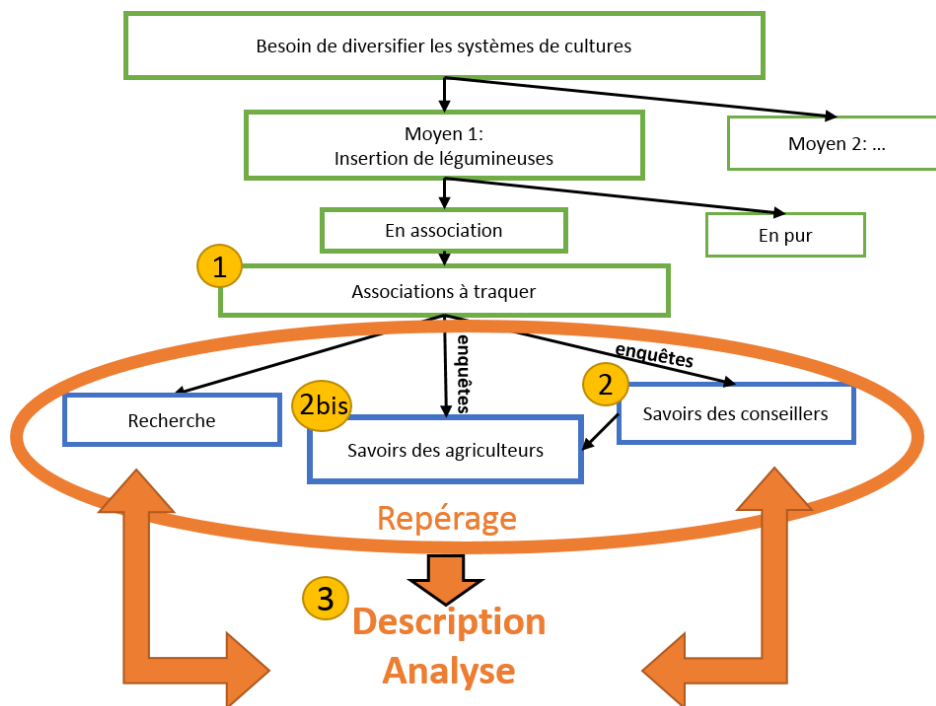


Figure 1 : LES DIFFERENTES ETAPES DE LA TRAQUE SUIVIES LORS DE L'ETUDE

1 PHASE DE REPERAGE

1.1 Définition des pratiques traquées

Les associations de cultures sont en plein développement, et intéressent de plus en plus les agriculteurs, la recherche et les collecteurs, mais elles restent très minoritaires, « atypiques » dans le paysage agricole français par rapport aux cultures pures, qui représentent la norme. Aucune statistique n'est disponible à ce jour, mais elles constituent une part mineure de la surface semée en légumineuses, qui en France et en Europe, représente moins de 3% des surfaces en grande culture (UNIP, 2012). Nous nous appuyons sur le fait que certains des agriculteurs cultivant des associations de cultures sont connus par les Chambres d'Agriculture, les coopératives, les GAB, ou les Civam. Cependant, ces informations sont très régionalisées, peu partagées, et il n'existe pas de documents faisant un état des lieux général des associations qui sont cultivées. L'objectif de cette étude est d'essayer de capter, et d'analyser la diversité qui existe en termes de pratiques des associations de cultures. L'étude s'est limitée aux associations à base de légumineuse à graines (protéagineux, oléo-protéagineux, légumes secs) qui sont le cœur d'étude du projet LEGITIMES, dans lequel s'inscrit ce stage. Aucune restriction n'a été faite sur le mode de production, les associations conduites en agriculture conventionnelle ou biologique étant pareillement étudiées.

1.2 Enquêtes auprès de conseillers et échantillonnage

Pour définir la zone d'étude concernée en France et amorcer le repérage des associations, la première étape a été d'identifier des personnes dites « têtes de réseau » de différents profils : chercheurs, conseillers, animateurs, agriculteurs qui ont servi de personnes ressources dans la recherche de contact. Ces têtes de réseau ont permis d'élargir les contacts pour arriver au final à identifier des agriculteurs cultivant des associations. Au fur et à mesure des prises de contact, une grande diversité des systèmes associés est apparue. Afin d'avoir une première idée de cette diversité et pour faciliter l'échantillonnage, une série d'enquêtes téléphoniques d'une heure auprès des têtes de réseau a été réalisée. Le critère de sélection était d'enquêter des personnes appartenant à différentes structures qui travaillaient au contact d'agriculteurs ayant des associations. Nous avons en définitive enquêté 10 conseillers dans les régions des Pays-de-la-Loire, Normandie, Poitou-Charentes, Bretagne, Bourgogne, Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées et Picardie. Les conseillers appartenaient à des structures diversifiées : des coopératives agricoles, des Chambres d'Agriculture, les CIVAM, l'ADABIO, le CREAB (Figure 2). Ils ont été questionnés sur leur perception de la diversité des combinaisons d'espèces existantes, des motivations des agriculteurs et de leurs pratiques.

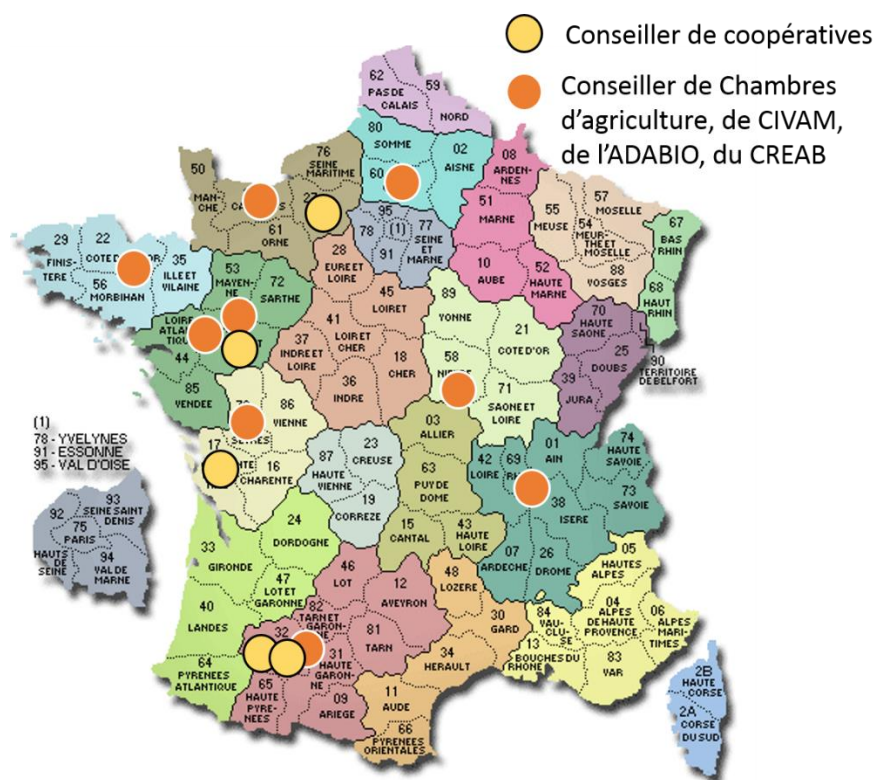


Figure 2 : CARTE LOCALISANT LES CONSEILLERS ENQUETES POUR LA PHASE DE REPERAGE, SELON LEUR STRUCTURE.

Cette étape nous a permis d'avoir un premier aperçu de la diversité des associations, et de décider de centrer le travail ultérieur sur l'Ouest de la France (Normandie, Pays-de-la-Loire, Poitou-Charentes et Midi-Pyrénées), où la pratique des associations a semblé moins rare et plus diversifiée. Ces entretiens ont également permis d'affiner le guide d'enquête à destination des agriculteurs, et d'obtenir des contacts ciblés d'agriculteurs, facilitant les prises de contact.

1.3 Enquêtes auprès des agriculteurs

Les enquêtes auprès des conseillers ayant permis d'obtenir quelques contacts d'agriculteurs en Agriculture Conventionnelle (AC) ou en Agriculture Biologique (AB), l'étape suivante a été d'avoir un premier contact téléphonique court avec les agriculteurs mentionnés par les conseillers pour confirmer leur pratique des associations, et leur demander comment ils les valorisaient, depuis combien de temps ils les cultivaient, et s'ils connaissaient d'autres agriculteurs qui cultivaient des associations pour élargir le réseau. Un premier groupe d'une quarantaine d'agriculteurs a ainsi été contacté. Ce mode d'échantillonnage, issu de la sociologie, est appelé « boule de neige » : l'échantillon est construit progressivement sur les propositions des individus sondés (Jalby, 2014). La recherche s'est faite de proche en proche: des personnes ressources pouvaient citer des agriculteurs déjà identifiés et d'autres qui n'avaient pas été mentionnés. Il est important, dans une telle démarche, de diversifier les profils des personnes ressources pour ne pas retomber sur les mêmes réseaux.

L'outil utilisé pour recueillir les données nécessaires sur les pratiques, pour une approche qualitative, est l'entretien semi-directif, également mobilisé par Salembier et Meynard (2013) pour les mêmes objectifs. Dans le choix des agriculteurs finalement enquêtés, nous avons accordé une grande importance à l'exploration d'une diversité de débouchés (autoconsommation de ruminants, de monogastrique, vente en mélange ou en séparé). Par ailleurs, seules les associations cultivées

depuis au moins 2-3 ans par les agriculteurs ont été sélectionnées afin de bénéficier d'un recul de l'expérience des agriculteurs par rapport à ces cultures. Après la sélection des associations qui rentraient dans le cadre de l'étude, des entretiens semi-directifs approfondis (Annexe 1) d'une heure environ ont été réalisés auprès d'un deuxième groupe d'une quinzaine d'agriculteurs, qui représentaient 38 associations, pour obtenir les informations nécessaires pour la suite du travail (Figure 3).

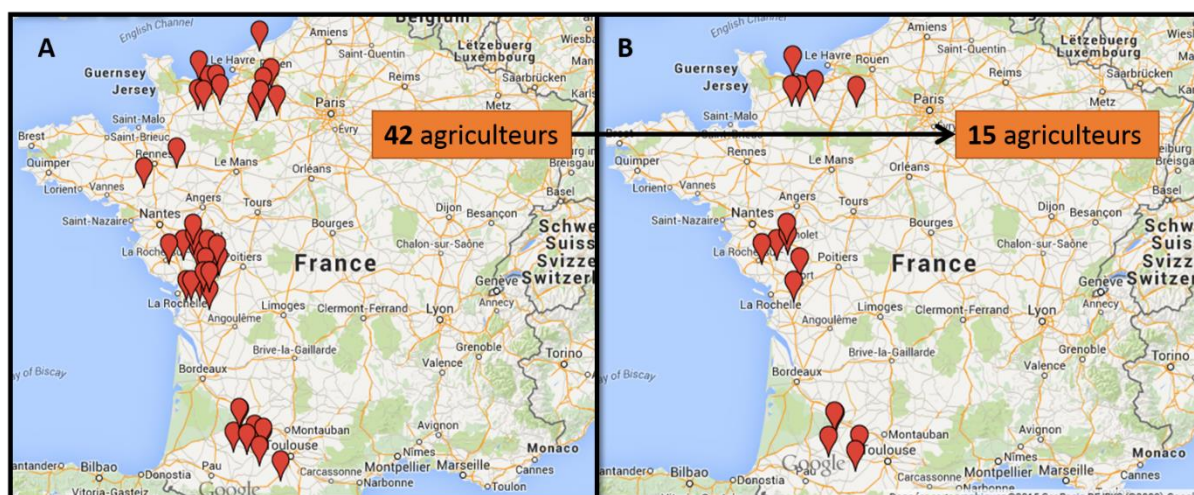


Figure 3 : A : NOMBRE D'AGRICULTEURS IDENTIFIES COMME CULTIVANT DES ASSOCIATIONS GRACE A LA DEMULTIPLICATION DES RESEAUX. B : NOMBRE D'AGRICULTEURS RETENUS POUR LA PHASE D'ENQUETE.

Après chaque entretien, une phase d'analyse des données a fait émerger de nouvelles questions impliquant un recueil d'informations complémentaires qui a été complété par de courts entretiens téléphoniques. Le guide d'entretien (Annexe 1) comportait deux volets : un premier volet qui permettait de recueillir les faits (caractéristiques de l'exploitation, itinéraire technique pratiqué, insertion dans un système de culture), un deuxième volet réunissait les raisons qui du point de vue de l'enquête justifiait les faits énoncés précédemment. Les entretiens ont été enregistrés pour faciliter le déroulé de l'entretien et l'analyse, mais ils n'ont pas été retranscrits intégralement car il n'y a pas eu d'analyse sociologique. Au cours des entretiens, les échecs rencontrés dans la culture des associations dans le passé n'ont pas été analysés car les informations historiques nous sont apparues moins fiables que les informations récentes sur les pratiques mises en œuvre actuellement. Mais les échecs sont des moyens complémentaires pour décrire les conditions de réussite des associations. Lorsque des échecs ont été cités par les agriculteurs, ils ont été notés de manière non exhaustive, mais le guide d'entretien n'a pas été construit autour de cette approche. Les processus d'innovation et d'apprentissage n'ont pas été étudiés. Le format du guide d'entretien n'a pas été construit pour démontrer les conditions du système d'exploitation qui rendent possible les associations, mais des éléments pertinents ont été pris en considération.

Lors de l'étude, 15 agriculteurs ont été rencontrés dans 4 régions différentes, 2 en Midi Pyrénées (Gers), 2 en Aquitaine (Lot et Garonne), 2 en Poitou-Charentes (Charentes Maritimes et Deux-Sèvres), 3 en Pays de Loire (Vendée) et 6 en Normandie (Calvados, Orne, Eure) (Figure 3).

Sur l'ensemble des agriculteurs identifiés comme cultivant des associations pour les récolter en grains, et répondant aux critères que nous nous étions donnés, un seul agriculteur en agriculture conventionnelle a été trouvé, malgré l'exploration de plusieurs réseaux. Il semble que la majorité des agriculteurs en AC qui cultivent des associations le font à destination de leur élevage, et les ensilent, ce qui n'entraîne pas dans le cadre de cette étude. Les agriculteurs enquêtés sont donc

essentiellement en agriculture biologique et polyculteurs-éleveurs (Figure 4). Différents types d'élevages ont été rencontrés sur les exploitations enquêtées : bovins, ovins, porcins et avicoles. Certains agriculteurs combinent plusieurs troupeaux. Les associations étudiées ne sont pas forcément valorisées par les troupeaux.

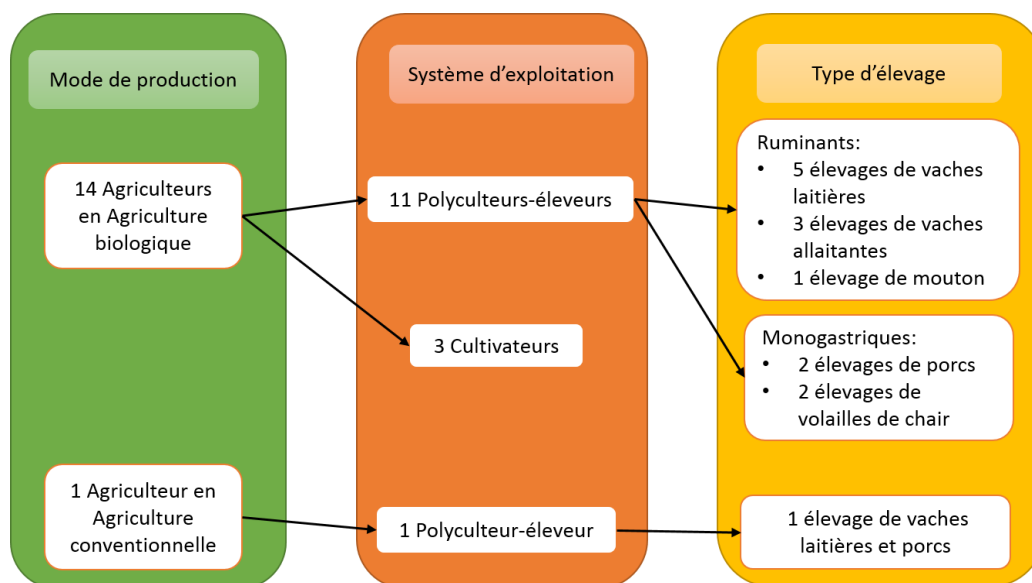


Figure 4 : PROFILS DES AGRICULTEURS ENQUETES. LE NOMBRE D'AGRICULTEUR REPRESENTANT LES CATEGORIES EST MENTIONNE.

1.4 Description et analyse agronomique des pratiques

Chaque association a été analysée seule afin de bien de comprendre les pratiques : à partir des éléments factuels sur la conduite de la culture (densité, variétés, semis...) et d'autres éléments du système de culture ou de production qui permettent de comprendre dans quelle mesure cette pratique s'inscrit dans la cohérence agronomique de l'agriculteur rencontré (les motivations, critères de satisfaction...). Chaque agriculteur a été codé par une lettre pour préserver l'anonymat. Les associations sont codées avec une lettre identifiant l'agriculteur et un chiffre. Les densités de semis mentionnées par les agriculteurs étaient majoritairement en kg/ha, elles ont été recalculées en grains/m² grâce à la formule suivante : $Densité \text{ en } gr/m^2 = (Dose \text{ en } kg/ha * 100) / PMG$. Les Poids de Mille Grains (PMG) de chaque variété ont été vérifiés sur les catalogues des semenciers en ligne. Les PMG pris comme référence sont : blé : 50g, orge à 6 rangs : 50g, orge à 2 rangs : 70g, seigle : 35g, triticale : 60, avoine : 60g, sarrasin : 25g, féverole : 550g, pois protéagineux de printemps : 260g, pois protéagineux d'hiver : 165g, pois fourrager : 170g, lentille : 31g, lentillon : 28g, lin : 7g, lupin : 130g, soja : 200g. Lors de l'analyse agronomique, diverses sources de connaissances ont été mobilisées : scientifiques, techniques, des avis d'experts (conseillers) et des agriculteurs, afin de les confronter aux résultats.

Puis, une analyse transversale a permis d'identifier des déterminants majeurs de pratiques. Sur la base d'une hiérarchie des variables déterminantes, une typologie des associations a été réalisée, afin de mettre en évidence les régularités qui apparaissent et se répètent dans plusieurs associations de cultures. Les 38 associations de cultures de l'échantillon ont été regroupées par types, à l'aide d'une Analyse en Composantes Principales (ACP). L'ACP a pour objectif d'étudier les ressemblances entre individus pour en dégager des profils (Cornillon et al., 2010). Cette typologie a été réalisée sur la base des variables quantitatives ordonnées suivantes, choisies

comme déterminantes de la diversité des itinéraires techniques rencontrés à l'issue de l'analyse de la logique agronomique :

- (i) Nombre moyen des espèces associées (2 à 7)
- (ii) Date de semis : 0=précoce (septembre-début octobre), 1=tardif (fin octobre-début novembre), 2=printemps (mi-mars ou mi-mai)
- (iii) Type de fertilisation : 0=aucune, 1=apport de fertilisant type compost ou fumier. Les associations étant de temps en temps fertilisées ont été placées dans cette catégorie (cf. Figure X ferti)
- (iv) Nombre moyen de désherbages (0 à 3)
- (v) Quantité de travail : nombre de passages entre le semis et la récolte, inclus ces deux opérations (2 à 6)

Cette étape a permis de sélectionner les composantes les plus explicatives. Puis les variables qualitatives décrivant le reste des itinéraires techniques (tri, débouché, types d'espèces, type de fertilisation, outil de désherbage) ont été superposées aux cercles de corrélation de l'ACP.

Il n'y a pas eu de phase d'évaluation multicritère des systèmes contrairement à Salembier et Meynard (2013), car notre objectif n'était pas d'évaluer les performances de ces systèmes en comparaison à d'autres systèmes plus classiques. Seul un diagnostic interne basé sur les critères de satisfaction retenus par l'agriculteur a été réalisé. Le diagnostic interne sur les processus de décision permet de vérifier la satisfaction de l'agriculteur pour son système (Cerf et Sebillotte, 1997). Aucun diagnostic externe, utilisant des référentiels agronomiques et économiques standard, ce qui facilite les comparaisons (Cerf et Sebillotte, 1997), n'a été réalisé. En effet, la diversité des associations rencontrées était telle (régions, espèces, débouchés) que dans le cas d'un diagnostic externe, il aurait été très compliqué de trouver des références pour comparer les systèmes entre eux. De plus, les impacts environnementaux de ces évaluations multicritères doivent être évalués à l'échelle de la succession de culture : à l'échelle d'une seule culture, cela n'a pas trop d'intérêt étant donné l'importance des effets précédents des légumineuses. Il aurait été possible de calculer les marges des associations, mais ce n'était pas l'objectif de l'étude, les associations étaient presque toutes différentes et n'auraient pas pu être comparées entre elles.

PARTIE C : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

1 DES MOTIVATIONS DIVERSES POUR CULTIVER DES ASSOCIATIONS

Quand des agriculteurs testent de nouvelles cultures, ils les pérennisent si elles sont jugées satisfaisantes. Les critères de satisfaction en général sont différents selon les agriculteurs, mais certains sont fréquemment rencontrés : en particulier le fait d'avoir un rendement suffisant pour garantir une certaine rentabilité, de maîtriser le salissement des cultures, et de limiter les maladies et ravageurs.

Mais les agriculteurs ont des motivations spécifiques aux associations de culture comme leur faible besoin en azote, leur capacité à stabiliser le rendement entre années, et à tolérer une suppression du désherbage.

Les éleveurs qui valorisent le produit de leurs associations pour l'autoconsommation de leur troupeau cherchent avant tout à être autonomes en protéines, ce qui est plus économique que d'acheter des compléments, surtout en AB (B, Cd, F, D, Du, Do, L soit 58% des éleveurs rencontrés) (Table 1). L'intérêt que les éleveurs identifient avec l'association est de disposer d'un aliment « prêt à donner » (L) et « équilibré entre l'énergie des céréales et les protéines des légumineuses » (F). De plus, un autre atout identifié par l'agriculteur F est que, selon les conditions de l'année, la récolte peut se faire de différentes manières : en grains, en ensilage ou en enrubannage. On ne retrouve pas cette souplesse de récolte en culture pure car les variétés et pratiques sont généralement adaptées au départ au type de récolte.

Pour les producteurs en grande culture ou en polyculture-élevage, qui vendent leurs associations en mélange ou en séparé, l'existence d'un débouché commercial est un facteur qui influe positivement le choix de cultiver des associations, et de la culture à choisir (D). L'assurance d'une bonne rémunération, particulièrement pour des cultures à forte valeur ajoutée, est une autre motivation, en particulier pour les espèces qui se cultivent plus facilement en association comme la lentille et le lin (S, Ve). La lentille peut se valoriser environ à 1000 €/t.

Pour tous types d'agriculteurs confondus, 1/4 des personnes enquêtées cultivent des associations car elles assurent une stabilité de rendement et la sécurité de récolter un rendement minimal (M, C, H, Do) (Table 1). Le point de comparaison le plus fréquent est alors la production de protéagineux. La conduite des protéagineux en pur est en effet très risquée, et ce particulièrement en AB car de nombreux facteurs limitants peuvent conduire à de fortes pertes de récolte (stress hydrique, compétition des adventices, maladie, verse), facteurs auxquels la céréale associée est moins sensible (V, D, Do).

Enfin, les agriculteurs apprécient que certaines associations favorisent une diminution des risques de maladies et la pression de certains ravageurs (bruches, pucerons) (M), en particulier en agriculture conventionnelle, ce qui permet moins d'applications de traitements phytosanitaires qu'en culture pures (Du). Des associations permettent également de réduire le salissement des parcelles en couvrant le sol davantage que les cultures pures. Quelques agriculteurs soulignent qu'elles permettent même de se passer du désherbage (Ve, C, Do). Ce sont aussi des cultures avec de faibles besoins en azote, qui se comportent bien dans des situations à bas-intrants comme en AB (V, Ve, H). Enfin, tous les agriculteurs apprécient les associations pour des motifs très personnels touchant à leur intérêt intellectuel, « ça m'occupe l'esprit » (V), « ces cultures sont un plaisir, car innover c'est se poser des questions » (B), « Ça me plaît d'apprendre de nouvelles

choses » (P) ou à des raisons esthétiques « *les champs sont magnifiques en fleurs* » (C). Ces aspects sont déterminants pour les agriculteurs P, D, M, C et Ba.

Table 1 : REPARTITION DES MOTIVATIONS PRINCIPALES QUI AMENENT LES AGRICULTEURS A CULTIVER DES ASSOCIATIONS. Les lettres représentent les codes des agriculteurs.

Agriculteurs/ Motivations	Autonomie en aliment	Stabilité de rendement	Intérêt personnel	Suppression du désherbage	Faible besoin en N	Diminution des maladies	Accessibilité à un débouché
M		X	X			X	
B	X						
F	X						
Ve				X	X		X
S							X
P			X				
Ba			X	X	X	X	
L	X						
Cd	X						
V		X			X		
Do	X	X		X			
H		X			X		
D		X	X				X
C		X	X	X			
Du	X					X	

2 DES CULTURES ASSOCIEES AVEC DES PRATIQUES TRES DIVERSIFIEES

2.1 Panorama de la diversité des pratiques rencontrées

2.1.1 UNE DIVERSITE DE COMBINAISONS D'ESPECES

Lors des enquêtes auprès des conseillers et des agriculteurs, une grande diversité de combinaisons d'espèces a été découverte.

Plusieurs associations ont été identifiées chez les agriculteurs enquêtés, mais seules celles qui étaient cultivées depuis au moins 2-3 ans ont été étudiées, de manière à bénéficier d'un recul de l'agriculteur. Pour l'ensemble des 15 agriculteurs enquêtés, 38 associations ont été identifiées, dont 10 associations de printemps et 28 associations d'hiver, 30 associations binaires et 8 associations complexes (de 3 à 7 espèces) (Figure 5). Les légumineuses associées étaient principalement la féverole (dans 34% des associations), le pois fourrager (32%), le pois protéagineux (26%) et, plus rarement, la lentille (18%), le lupin (5%) ou le soja (3%). Les combinaisons d'espèces étaient très diverses. Les plus fréquentes étaient : pois protéagineux-orge (hiver et printemps) avec 5 occurrences, le pois fourrager-triticales et féverole-blé avec 4 occurrences, et les associations féverole-triticales et lentille-camelina avec 3 occurrences (Figure 5).

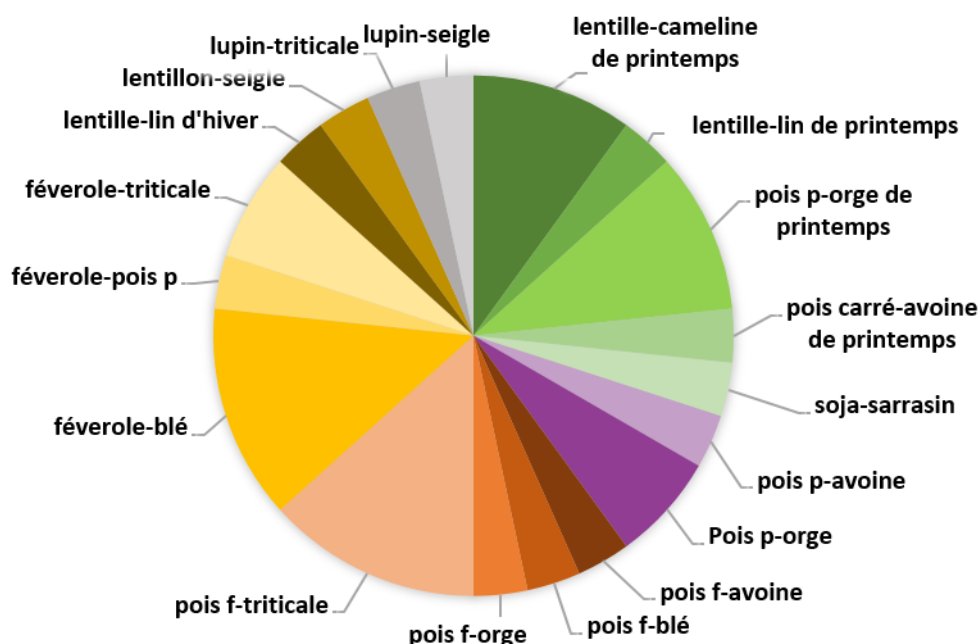


Figure 5 : REPARTITION DES 30 ASSOCIATIONS BINAIRES ETUDIEES. La taille de la portion indique la fréquence d'occurrence dans l'échantillon, les associations de printemps sont en vert. Pois f : pois fourrager ; pois p : pois protéagineux.

Les mélanges complexes sont tous uniques en termes de composition des espèces. Ils sont tous mis en place par des éleveurs (sauf P), pour toutes les sortes de débouchés. La grande majorité des associations sont de type graminée-légumineuse sauf les associations féverole-pois fourrager, lentille-camelina et lin-lentille, soja-sarrasin.

Table 2 : REPARTITION DES 8 ASSOCIATIONS COMPLEXES (DE 3 A 7 ESPECES) ETUDIEES. (Les associations de printemps sont mentionnées en italique)

Associations avec 3 espèces	Associations avec 4 espèces	Associations avec 5 espèces et plus
Féverole-vesce-avoine d'hiver	Pois fourrager-féverole-triticales-blé d'hiver	Pois fourrager-féverole-blé-triticales-avoine d'hiver
Pois fourrager-féverole-triticales d'hiver	Pois protéagineux-lentille-orge-avoine de printemps	Pois fourrager-épeautre-avoine-lupin-blé-triticales-vesce d'hiver
	Féverole-pois protéagineux-pois fourrager-triticales d'hiver	

Lors de la phase d'entretiens auprès des conseillers, la liste obtenue des combinaisons d'espèces et des familles était encore plus variée (Table 2).

La réduction de la diversité, lors du passage des conseillers aux agriculteurs a été due : à la contrainte d'une expérience de plusieurs années sur les associations, au choix des agriculteurs retenus, qui n'a pas permis d'explorer la totalité des associations indiquées par les conseillers. En voici une liste avec en gras les associations retrouvées lors des enquêtes (Table 3). Certaines des associations rencontrées chez les agriculteurs enquêtés n'avaient cependant pas été mentionnées par les conseillers.

Table 3 : ASSOCIATIONS BINAIRES MENTIONNEES PAR LES CONSEILLERS CLASSEES PAR TYPE DE LEGUMINEUSE. Les associations rencontrées sont en gras. Le détail des structures et des régions des conseillers à l'origine de l'information est en italique.

Légumineuse de l'association	Associations binaires mentionnées
pois fourrager	<p>-Triticale-pois fourrager (Chambres d'agriculture de Pays de Loire, de Picardie, de Bourgogne, de Poitou-Charentes, de Bretagne, Coopérative de Midi-Pyrénées, de Normandie, Adabio Rhône-Alpes) ;</p> <p>-Orge-pois fourrager (Chambres d'agriculture de Picardie, de Normandie, Coopératives de Midi-Pyrénées, de Normandie, Civam Pays de Loire) ;</p> <p>-Blé-pois fourrager (Coopérative de Midi-Pyrénées) ;</p> <p>-Avoine-pois fourrager d'hiver (Coopératives de Midi-Pyrénées, Chambre d'agriculture de Pays de Loire) ;</p> <p>-Avoine-pois protéagineux de printemps (<i>Civam Pays de Loire</i>) ;</p>
Pois protéagineux	<p>-Orge-pois protéagineux (Chambres d'agriculture de Pays de Loire, de Bretagne) -Blé-pois protéagineux d'hiver (Chambres d'agriculture de Poitou-Charentes, de Pays de Loire, de Picardie)</p>
féverole	<p>-Triticale-féverole (Coopérative de Midi-Pyrénées, Chambres d'agriculture de Bourgogne, de Pays de Loire, de Normandie, de Bretagne, Civam Pays de Loire) ; -Orge-féverole (Chambre d'agriculture de Poitou-Charentes) ;</p> <p>-Blé-féverole (Coopératives de Midi-Pyrénées, de Normandie, Chambres d'agriculture de Bourgogne, de Poitou-Charentes, de Pays de Loire, de Bretagne) ; -Avoine-féverole (Coopératives de Midi-Pyrénées, Chambres d'agriculture de Pays de Loire, de Normandie, de Poitou-Charentes) ;</p> <p>-Epeautre-féverole (Coopérative de Normandie, Chambre d'agriculture de Pays de Loire) ;</p> <p>-Seigle-féverole (Chambre d'agriculture de Pays de Loire) ;</p> <p>-Féverole-lupin (Chambre d'agriculture de Bretagne)</p>
lentille	<p>-Blé-lentille (Coopératives de Midi-Pyrénées) ;</p> <p>-Orge-lentille (Coopérative de Midi-Pyrénées, Chambre d'agriculture de Poitou-Charentes) ;</p> <p>-Seigle-Lentillon d'hiver (Chambre d'agriculture de Picardie, Coopérative de Normandie) ;</p> <p>-Grand épeautre-lentillon d'hiver (<i>Chambre d'agriculture de Picardie</i>) ;</p> <p>-Cameline-Lentille (Chambre d'agriculture de Picardie, de Poitou-Charentes, Coopératives de Midi-Pyrénées, de Normandie, Adabio de Rhône-Alpes) ; -Cameline-lin-lentille (Chambre d'agriculture de Picardie);</p>
lupin	<p>-Triticale-Lupin (Coopérative de Midi-Pyrénées, Chambres d'agriculture de Poitou-Charentes, de Pays de Loire, de Normandie) ;</p> <p>-Orge-lupin (Chambre d'agriculture de Bretagne)</p>
vesce	-Triticale-vesce (Chambre d'agriculture de Normandie)
pois chiche	-Blé-pois chiche (Coopératives de Midi-Pyrénées)
haricot	- Maïs-haricot blanc tarbais (Coopératives de Midi-Pyrénées)
soja	<p>-Tournesol-soja (Coopérative de Midi-Pyrénées) ;</p> <p>-Soja-haricot azuki (Coopératives de Midi-Pyrénées)</p>

En plus des associations binaires mentionnées par les conseillers, quelques-uns ont donné des exemples d'associations avec plus de deux espèces. Il existe de nombreuses combinaisons possibles et ces associations sont souvent des mélanges cultivés par des éleveurs. Ils sont à base de céréales et de légumineuses, en voici quelques exemples (ceux en gras ont été rencontrés lors des entretiens) :

Exemples :

- Triticale-blé-épeautre-féverole-pois (Chambre d'agriculture de Poitou-Charentes) ;
- Triticale-féverole-pois fourrager** (Chambre d'agriculture de Pays de Loire, Civam de Pays de Loire) ;
- Triticale-blé-avoine-féverole-pois (*Civam de Pays de Loire*) ;
- Triticale-pois-féverole-avoine (*Civam de Pays de Loire*) ;
- Blé-féverole-avoine (*Civam de Pays de Loire*) ;
- Triticale-avoine-pois fourrager-vesce (*Civam de Pays de Loire*) ;
- Avoine-lentille-vesce (Coopérative de Normandie).

Ces informations montrent des combinaisons d'espèces à base de légumineuses à graines bien plus diversifiées, contrastant avec le faible nombre d'associations rencontrées dans la littérature scientifique en France. Dans une méta-analyse des effets de la fertilisation azotée sur des associations de culture de Pelzer et al. (2014), sur les 17 publications étudiées, les 15 pays totalisent 9 associations de cultures différentes en tout, à base de blé, orge et pois pour l'Europe. Certaines associations sont mentionnées par des conseillers de nombreuses régions (triticale-pois fourrager, triticale-féverole) et d'autres semblent spécifiques à certaines régions (blé-pois chiche en Midi-Pyrénées, orge-lupin en Bretagne). Cependant, les systèmes associés étudiés devaient avoir été cultivés pendant au moins deux ans par les agriculteurs. C'est pourquoi l'association blé-lentille en Midi-Pyrénées, qui a commencé à être cultivée cette année, n'a pas pu entrer dans le cadre de cette étude.

2.1.2 UNE DIVERSITE DE TECHNIQUES PRATIQUEES

Les itinéraires techniques des associations suivent les mêmes étapes que les cultures pures, mais les pratiques varient selon les agriculteurs ou les associations.

2.1.2.1 Pratiques de semis

Les pratiques de semis sont différentes selon les associations et les agriculteurs qui modulent leurs manières de semer leurs associations, les motifs de semis, les dates de semis et les densités pour réussir l'implantation (Figure 6).

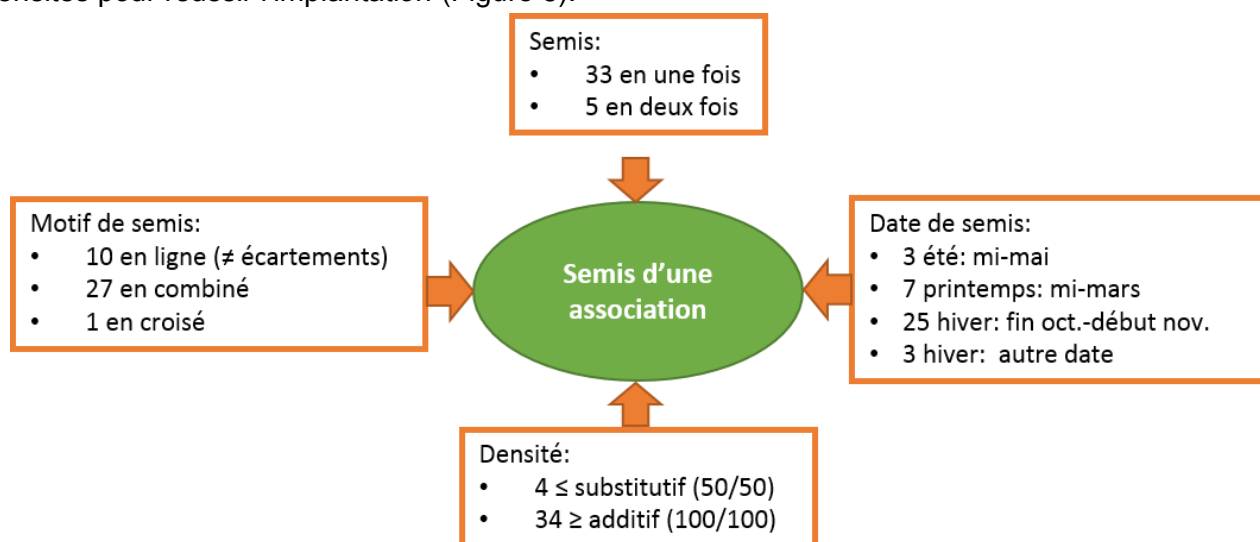


Figure 6 : DIFFERENTES MODALITES DE SEMIS DES ASSOCIATIONS DE CULTURES RENCONTREES CHEZ LES AGRICULTEURS.

A quelques exceptions près, les dates de semis des associations d'hiver comme de printemps sont peu variables. Les associations d'hiver sont semées entre fin octobre et début novembre (sauf pour les associations F1, V3, B3 et V4) (Figure 6). C'est une logique de retard du semis de la céréale, pour caler le semis avec la légumineuse et réduire les risques de maladies et adventices. L'agriculteur F pour son association F1 se donne un intervalle plus large, entre mi-octobre et décembre afin de pouvoir s'organiser pour la préparation du semis derrière prairie (fauche, décompactage) mais « *plus tôt c'est fait et mieux ça marche* ». V3, V4 et B3 (lin-lentille, lupin-seigle et lupin-triticales) sont semées un peu plus tôt, fin septembre-début octobre, pour que le lin soit bien développé avant l'hiver, et pour réduire le risque de gel du lupin ou de son faible développement. En effet, l'ITAB conseille pour le lin oléagineux un semis entre le 15 septembre et le 15 octobre (Alter Agri, 2009a) et pour le lupin d'hiver un semis en septembre (CRA, 2013a). Les semis des associations de printemps, toutes à base de lentille ou pois protéagineux, se font autour de la mi-mars. Il y a trois associations « d'été » à base de soja et de lentille qui sont semées mi-mai dans le Gers (Ba).

Le plus souvent, toutes les espèces associées sont semées en un seul passage (semences mélangées dans le semoir). Cependant, 3 associations, sur 13 incluant de la féverole, sont semées en deux fois. Les pratiques sont alors variées : pour L2, un premier passage avec un épandeur à engrais pour semer la féverole puis un vibroculteur pour semer un blé derrière et enterrer la féverole en même temps ; pour C2, la féverole est semée à 6 cm par un semoir à dents, puis un triticales est semé plus superficiellement quelques jours après ; pour Du1, la féverole est semée avec un semoir à grains, et un labour à 15 cm permet de l'enterrer, puis le reste de l'association est semé, de manière classique (Du1). Cela permet de semer la féverole plus profondément que

la céréale afin d'éviter le gel (C2 et Du1 dans le Calvados). Cependant, pour Du1, il y a un « *fait surprenant, c'est elle qui lève en premier, elle a une vitalité impressionnante* ». Dans le passé, D1 localisé dans le Calvados, semait sa féverole avant un labour, mais il n'avait pas beaucoup de levée car « *il faut un labour régulier et peu profond* » et il est passé à un semis classique en combiné, en une fois, et il en est satisfait. Situé en bord de mer, il a un faible risque de gel. L'ITAB confirme que le semis à la volée, suivi d'un labour superficiel, n'est pas recommandé car la profondeur de semis est hétérogène et donc la croissance et les stades le seront aussi, ce qui peut gêner le désherbage mécanique (ITAB, 2014). L'agriculteur Du souligne que, pour son association féverole-pois fourrager-triticales, le fait de « *semier le mélange triticales-pois fourrager après la féverole, permet de repasser un outil sur le sol qui permet d'unifier le sol après le labour* » (Du1) ; C indique que le semis de la céréale quelques jours après celui de la féverole permet de « *faire un petit désherbage avec la houe rotative du semoir* » (C2). Semer les féveroles en profondeur est un conseil donné par des fiches techniques en AB en Normandie, (CRA-Normandie, 2015). Cependant, des agriculteurs dans la même région n'ont pas souffert du gel sur les féveroles non semées en profondeur et sèment maintenant ces associations à base de féverole en un passage unique (D, H) « *car il n'y a pas de gel de décembre donc aucun risque que le collet de la féverole gèle* » (M3). De plus, Irena, la variété de féverole la plus utilisée, serait résistante au gel jusqu'à -7°C (ITAB, 2014).

Une autre association est semée en deux fois chez un seul agriculteur qui la pratique sur 3 : lentille-cameline, avec la cameline semée 4 jours après la lentille « *pour ne pas gêner la levée de la lentille* » (Ve1). Le semis décalé est aussi proposé par Alter Agri (2009) avec le semis de la plante compagne (céréale) avant la cameline car la petite graine de cameline doit être semée en surface contrairement aux céréales qui sont semées à 3 cm de profondeur. Le semis en une fois est possible s'il y a deux trémies indépendantes pour semer les espèces à leur profondeur respective (Agridea, 2013). Un autre agriculteur faisait auparavant le semis de la lentille-cameline en deux fois, mais il sème maintenant en une seule fois, et il n'a pas vu de différences au niveau du rendement et de l'enherbement (S1). En revanche, il remarque une tendance : « *les fenêtres d'intervention sont de plus en plus courtes (années humides), donc le semis en une fois, c'est plus simple* ». L'agriculteur Ba sème l'ensemble de ses cultures (soja-sarrasin, lentille-cameline) en semis direct sous un couvert vivant généralement à base de trèfle blanc. Il ne fait aucun travail du sol. Les couverts sont implantés plusieurs années de suite et les associations semées dedans avec un semoir direct.

Les motifs de semis varient parfois pour ajuster l'écartement à un binage (pour M3 à 25 cm), ou pour mieux couvrir le sol, par exemple en semant la cameline « *en travers* », soit perpendiculairement aux rangs de lentille (Ve1). En cas de semis de la lentille et de la cameline en lignes, Alter Agri (2009) propose également de semer en croisant les lignes pour que les rangs ne se superposent pas et qu'elles occupent mieux le terrain. Un agriculteur sème « *l'avoine à 25 cm et le pois protéagineux à 12.5 cm pour qu'il se retrouve entre les rangs d'avoine* » pour favoriser une répartition homogène et régulière au sol et ainsi assurer une meilleure couverture de la surface (M2).

Les densités sont variables également selon les associations, les agriculteurs, leurs objectifs, et les régions. Les densités indiquées étaient principalement en kg/ha. Elles peuvent aller de 104 kg/ha pour une association lentille-cameline (S1) jusqu'à 280 kg/ha pour une association orge-pois protéagineux de printemps (B4) (Figure 7) ou de 76 grains/m² pour l'association féverole-pois protéagineux à 1300 grains/m² pour lentille-lin (Figures 7). Il y a 34 associations de type additive (densité totale supérieure à la somme des densités recommandées en pur) et 4 associations substitutives (50/50) ou avec une densité totale inférieure.

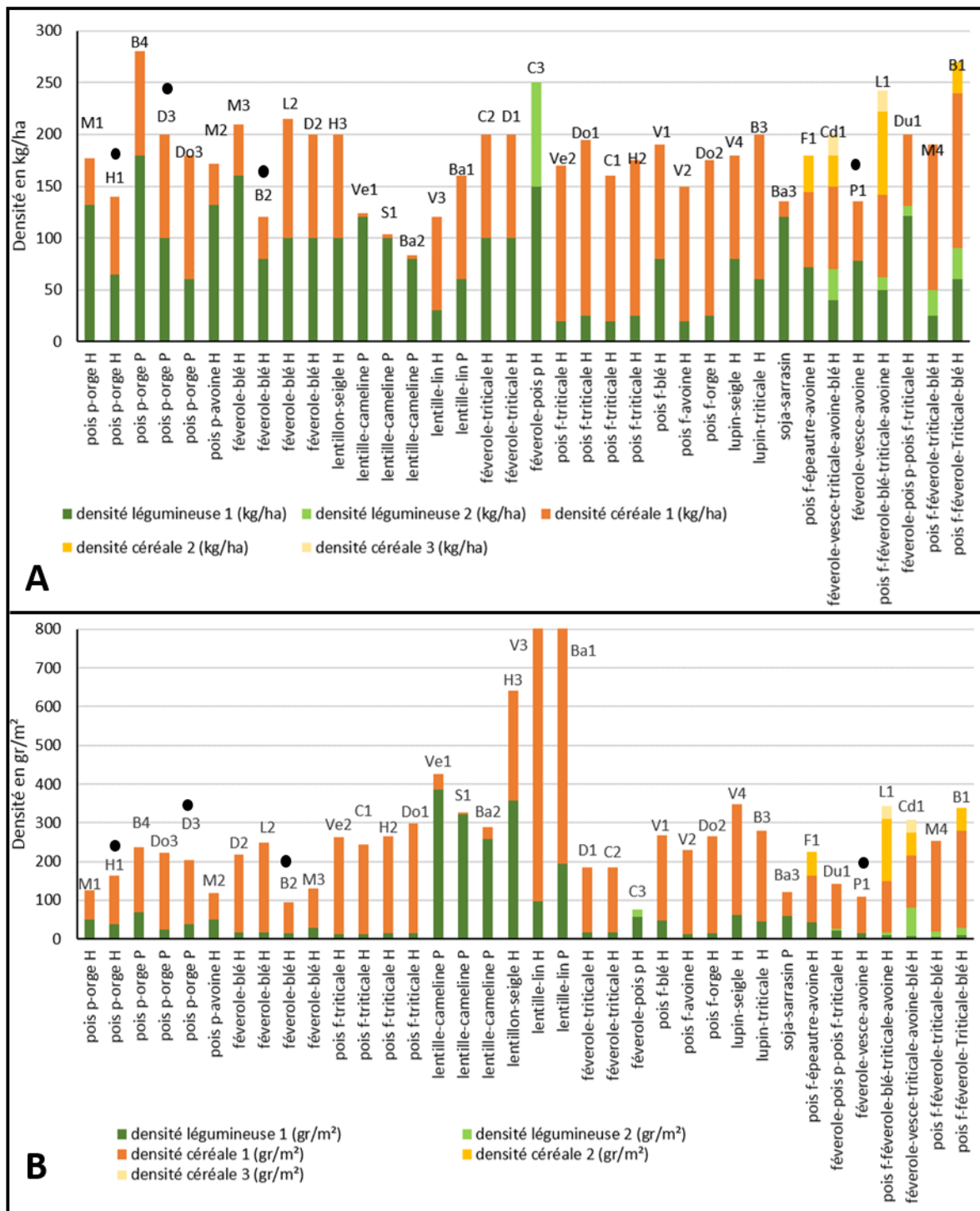


Figure 7 : DIVERSITE DES DENSITES DES ASSOCIATIONS PRATIQUEES CHEZ LES AGRICULTEURS : Graphe A en kg/ha. Graphe B en grains/m². Les lettres en haut des barres représentent les codes des associations, et les associations d'hiver et de printemps sont distinguées par un H pour hiver et un P pour printemps. Les points noirs au-dessus des barres distinguent les associations substitutives des autres. Les densités totales des associations V3 et Ba1 : lentille-lin sont de 1383 grains/m² et 1623 grains/m² et ne sont pas représentées en totalité dans le graphe.

Au sein d'une même association orge-poïs protéagineux ou blé-féverole, les densités totales varient, ainsi que les densités de chaque espèce, même pour une région donnée (Figure 7). Les densités des associations orge-poïs protéagineux de printemps sont toujours plus élevées que

celles des associations orge-pois protéagineux d’hiver. Les densités de chaque espèce sont cohérentes avec les objectifs des agriculteurs. Ainsi, dans certaines associations, l’agriculteur parle d’une culture principale, souvent celle qui assure le rendement, qui est mieux rémunérée, adaptée à l’autoconsommation, tandis que la culture compagne peut être là uniquement pour rendre un service de tuteur ou de couverture du sol à la culture principale, et sa production est considérée comme un bonus (Do2, B4, Ve1, Ba3, V3). Dans ce cas, la densité de la plante compagne est toujours inférieure à celle conseillée en culture pure. Dans l’association pois protéagineux-orge (B4), l’orge est juste là pour servir de tuteur (semis à 80% de la densité en culture pure). La lentille associée au lin dans l’association V3 joue un rôle de couverture du sol (semis à 30% de la densité en culture pure). Tous les agriculteurs n’ont pas la même logique pour choisir les densités de leurs associations. L’agriculteur D par exemple a des densités globales toujours à 200 kg/ha et des densités par espèce à 100 kg/ha, quelque que soit l’association qu’il pratique, alors que l’agriculteur C a des densités globales et des densités par espèce très différentes selon ses associations (Figure 8). On peut l’expliquer par les stratégies différentes de ces agriculteurs. L’agriculteur D utilise d’abord ces associations pour son élevage puis le reste pour la vente, alors que l’agriculteur C vend toutes ses associations et ne veut pas désherber. La gestion de l’agriculteur C, est sûrement plus fine que son collègue D « *qui arrondit* » les densités à 100 kg/ha.

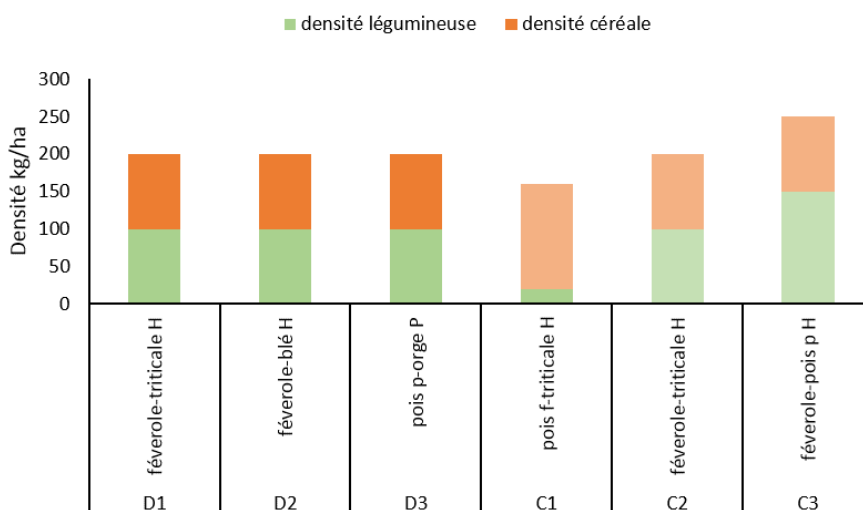


Figure 8 : DIVERSITE DES DENSITES GLOBALES EN KG/HA QUE L’ON PEUT TROUVER CHEZ UN MEME AGRICULTEUR C OU D. les associations d’hiver et de printemps sont distinguées par un H pour hiver et un P pour printemps.

Les variétés utilisées sont diverses pour les céréales, mais souvent identiques pour les protéagineux. La variété de féverole qui revient souvent est Irena (57% sur 14 associations avec de la féverole) ; les autres sont plus minoritaires : Karl (14%), Olan (14%). La variété de pois protéagineux qui est beaucoup utilisée est Dove (50% sur 8 associations avec du pois protéagineux d’hiver), celle pour le pois fourrager est Assas (91% sur 12 avec du pois fourrager). Pour les céréales, les variétés sont nombreuses et parfois utilisées en mélange dans l’association, mais celles qui sont utilisées le plus fréquemment sont le triticales Bienvenu (33% sur 12 associations avec du triticales) et le blé Pirénéo (44% sur 9 associations avec du blé). Pour 26% des associations (10 sur 38), il y a des mélanges de variétés de céréales : des mélanges de blés pour 4 d’entre elles (B2, L1, L2, Cd1), ou de protéagineux au sein même de l’association.

Le manque de disponibilité des variétés qu'ils aimeraient associer, rarement présentes chez les fournisseurs, est régulièrement mentionné par les agriculteurs, pouvant expliquer que beaucoup d'agriculteurs décident de faire leurs semences eux-mêmes pour pallier ce manque, et économiser de l'argent. Certaines variétés peuvent être imposées par les collecteurs pour faciliter le tri, ou convenir à un débouché. Certains agriculteurs choisissent régulièrement d'acheter des semences pour éviter les « *dégénérescences* » qui peuvent avoir lieu avec des semences fermières (Ve1, Ve2, S1, S2, H3, Du1, V1, V2, V3, V4). Certains agriculteurs renouvellent leurs semences seulement tous les 4-5 ans en achetant à des négociants (M1, M2, M3, M4), ou alors une partie tous les ans (Do1, Do2, H1, H2, D1, D2), ou bien quand leurs semences deviennent « *sales* » et qu'ils n'arrivent plus à trier correctement les graines d'adventices comme la folle-avoine (C1, C2, C3). Certaines espèces ne sont pas renouvelées volontairement, comme le pois fourrager (C1, H2) depuis 20 ans (B1), depuis 6 ans (Do1, Do2), l'épeautre depuis 10 ans (F1), la féverole (H2), le blé depuis 20 ans (Cd1) car ils n'observent « *pas de dégénérescence* » (C1), « *car elles ne font pas comme les céréales qui à force d'en faire perdent du rendement* » (H2), « *c'est plus simple de faire ses propres semences et en plus il n'a pas beaucoup de quantité à gérer* » (Do1, Do2), « *car c'est plus simple et moins cher et en autoconsommation il n'y a pas d'exigence de qualité* » (F1), « *elle convient bien et c'est moins cher* » (B1).

2.1.2.2 Pratiques de désherbage mécanique

Les pratiques de désherbage des associations varient selon le matériel disponible sur l'exploitation, l'efficacité des machines pour le désherbage, le seuil de tolérance des agriculteurs par rapport aux adventices (D, Du) et le type d'association.

On retrouve l'utilisation de la bineuse, de la herse étrille, de la houe rotative et de l'écimeuse en AB. En conventionnel, on peut trouver un traitement chimique en prélevée (Figure 9). La bineuse est appréciée, par comparaison à la herse ou la houe, car elle peut être efficace à un stade plus avancé que le stade filament blanc pour les adventices et elle nettoie bien les inter-rangs (M, V), ce qui est confirmé par l'ITAB (2012). Le désherbage doit être adapté à la fragilité des espèces selon leurs stades (pois fourrager fragile quand les vrilles apparaissent car il peut se faire arracher). Un vent sec peut assécher des féveroles et rendre impossible le désherbage, au risque d'abimer la culture (D). Pour certains agriculteurs, la herse étrille abîme les feuilles avec ses dents, ouvrant la voie à des contaminations de maladies (M, B). L'écimeuse permet de couper la tête des adventices avant qu'elles ne montent à graines, mais elle ne peut pas être utilisée si les cultures sont hautes, au même niveau que les adventices. Par exemple, l'agriculteur Ve l'utilise sur l'association lentille-cameline (Ve1) mais pas sur un triticales-pois fourrager car le triticales est trop haut (Ve2). L'agriculteur F passe juste un coup de rouleau sur son association pois fourrager-épeautre-avoine afin de faire taller les céréales pour qu'elles couvrent mieux le sol (F1). Cette pratique est utile en cas d'alternance de périodes de gel et dégel, pour tasser la terre et les plants qui peuvent être déchaussés, mais ces conditions climatiques sont plus présentes dans l'Est qu'en Vendée, d'après l'agriculteur F.

Les conditions pour désherber efficacement sont les mêmes qu'en cultures pures (conditions de sol et de météo, stade, type de machine). Le nombre de passages pour désherber peut aller de 0 à 3 (Figure 9). La différence de tolérance vis-à-vis des adventices, entre agriculteurs, paraît être une composante importante mais délicate à quantifier. En AC, il n'y a pas beaucoup de produits homologués pour les associations : l'agriculteur Du souligne que la « *demi-dose de Prowl* » (herbicide) qu'il applique au semis sur son association pois fourrager-pois protéagineux-féverole-triticales n'est pas homologuée sur les pois, mais ce serait un problème si la culture se faisait envahir

par les adventices car il n’y aurait pas assez de molécules homologuées pour lutter contre les adventices. Mais généralement, même s’il ne désherbe pas ça irait, il « *désherbe plus pour se rassurer* » (Du1). En AB, certains agriculteurs n’ont jamais désherbé leurs associations « *car elles étaient propres* » (C1, C2, C3, S1).

Les conseillers confirment que dans le cas de l’agriculture conventionnelle, les agriculteurs qui cultivent des associations sont dans une logique de bas-intrants pour le désherbage et les maladies et qu’il y a un manque de matières actives homologuées efficaces pour les deux cultures associées. Selon les conseillers, pour les agriculteurs en AB, les associations sont majoritairement non désherbées, ou alors avec un seul passage.

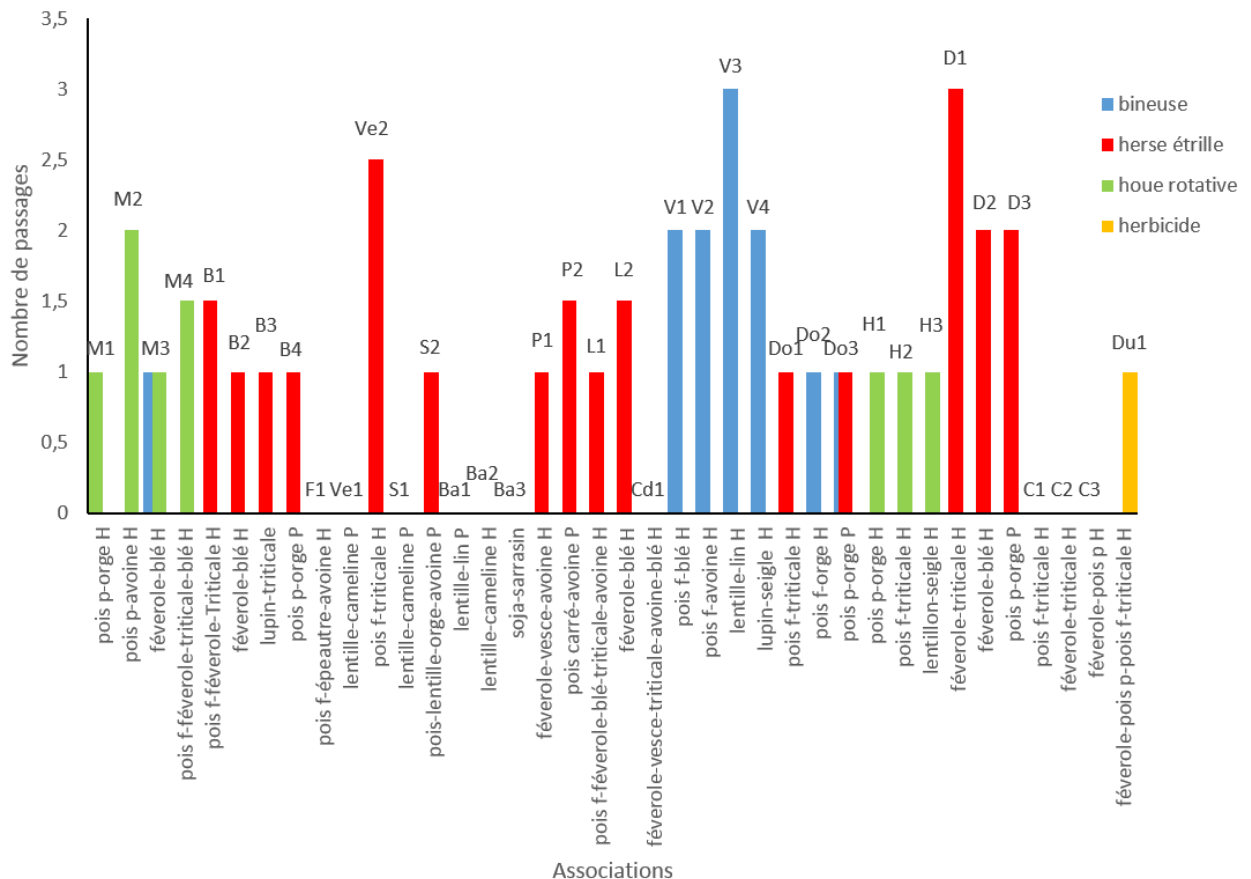


Figure 9 : DIVERSITE DU NOMBRE DE PASSAGES D’OUTILS POUR LE DESHERBAGE DES ASSOCIATIONS RENCONTRES LORS DES ENQUETES. Les valeurs 1.5 indiquent que le nombre de passages est situé entre 1 et 2 selon les conditions, une valeur 2.5 indique des passages entre 2 et 3. Les codes avec des lettres et des chiffres identifient chacun des agriculteurs et leurs associations.

2.1.2.3 Pratiques de fertilisation

La majorité des associations ne sont pas fertilisées. Lorsqu'elles le sont, les éléments qui entrent dans le raisonnement de la pratique sont le précédent, la disponibilité en fertilisants (compost de déchet vert, digestat de méthanisation, fumier, fientes), et le contexte climatique. La fertilisation est gérée à l'échelle des systèmes de culture pour l'ensemble des associations (Figure 10).

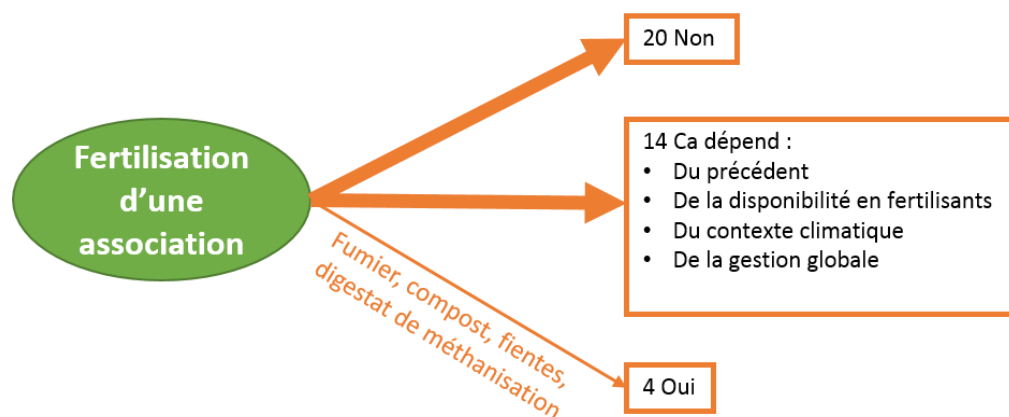


Figure 10 : REGLES DE DECISION POUR LA FERTILISATION D'UNE ASSOCIATION DE CULTURES.

De manière plus précise, 20 associations sur 38 ne sont pas fertilisées, 4 associations ont été fertilisées l'année dernière (M1, F1, Ve2, M4). Les 14 autres n'ont pas été fertilisées l'année dernière, mais le sont en fonction des disponibilités en compost, des associations passant après les cultures prioritaires (à forte valeur ajoutée ou indispensable au système d'exploitation (maïs popcorn, maïs ensilage...)). Certaines associations sont fertilisées selon le précédent, par exemple après un maïs pour aider à décomposer les fanes (B1, B2), ou après une prairie (L1). Derrière une association avec des légumineuses, les reliquats d'azote minéral ne sont pas mesurés. Un petit reliquat est attendu mais considéré comme nul par les agriculteurs, sauf si la densité des légumineuses était importante dans l'association. Cependant, les reliquats ne sont jamais pris en compte par les agriculteurs car les systèmes en AB sont conduits à bas niveau d'intrants azotés (Naudin et al., 2010) : les fertilisations azotées sont toujours sous-optimales. Ces pratiques sont confirmées par les conseillers. Une seule association a été mise en place pour servir de « relais azoté » (C3) dans la rotation et fournir des reliquats azotés pour la culture suivante (blé) : l'association pois protéagineux-féverole. En effet, les légumineuses ont des résidus racinaires plus riches en azote que des graminées. Lors de la sénescence des nodosités, des racines et des résidus superficiels, les légumineuses vont produire des reliquats d'azote minéral et organique (Fustec et al., 2010). Les résidus organiques, pour devenir disponible, nécessitent un processus de biotransformation microbienne, qui prend du temps, les reliquats azotés sont donc plus importants pour des associations pluriannuelles type luzerne que pour des cultures annuelles (Justes et al., 2014).

2.1.2.4 Pratiques de récolte

Afin d'obtenir une récolte propre, facile à battre, minimisant les brisures, les agriculteurs jouent sur les variétés, les espèces, le choix du matériel et des techniques adaptées, les conditions climatiques de récolte, la maturité relative des espèces de l'association et la hauteur de coupe (Figure 11).

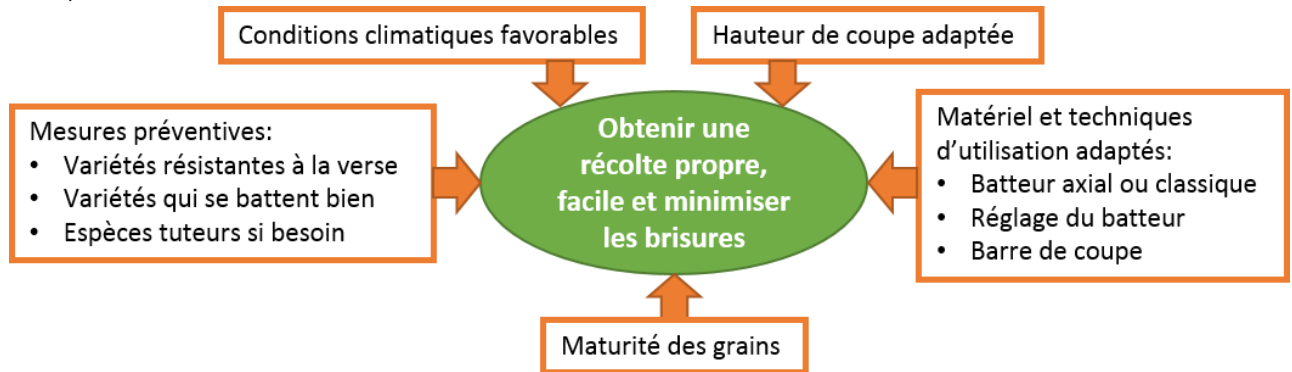


Figure 11 : DIFFERENTES PRATIQUES PERMETTANT D'OBTENIR UNE RECOLTE PROPRE QUI MINIMISE LES BRISURES.

Le déclenchement de la récolte se base sur la maturité des cultures. S'il y a des précocités différentes au sein de l'association, la récolte peut se baser sur la culture principale, et le temps qu'elle peut attendre sans s'égrener (M, B, Du). La maturité est estimée à partir de l'humidité des cultures, environ 16% d'humidité du grain pour les céréales et protéagineux, qui devra descendre pour le stockage afin que les graines se conservent bien (M). Les modalités de récolte à adapter selon les conditions climatiques sont les mêmes pour les cultures pures ou associées.

Le choix du matériel et son réglage constituent des points d'attention majeurs pour la récolte des associations. Les types de batteur semblent impacter la quantité de brisures de protéagineux : selon l'agriculteur C, un batteur axial fait moins de brisures qu'un batteur classique (horizontal) car il est moins agressif. Bedoussac et al. (2013) et un conseiller mentionnaient la même chose : des associations de type blé-pois fourrager ne seront achetées par le négoce que chez des agriculteurs qui récolteront le mélange avec un batteur axial (CS), car la diminution des brisures diminue les coûts de tri. Le réglage des batteurs est important pour battre correctement des grains de tailles différentes : par exemple, les protéagineux se brisent facilement si les batteurs sont trop serrés (V, L, H, C, Du). Certaines variétés de triticale, de blé se battent plus facilement et permettent donc de desserrer le batteur et de moins casser les protéagineux (V, Do, C). Par exemple, le blé Titlis se bat moins bien que le blé Energo (V1). Les temps de récolte sont plus ou moins longs selon que les cultures sont versées ou non, ce qui est diminué en association, car sinon il faut essayer de relever les plantes pour en récolter un maximum (M). Les espèces servant de tuteur à certains protéagineux (pois fourrager, protéagineux, lentille..) permettent d'éviter la verse. Une barre de coupe à colza « barre à scie » peut être utilisée pour faciliter le passage de la batteuse dans une association où les cultures sont agrippées les unes aux autres et ainsi éviter de bourrer la machine (Du).

La hauteur de coupe peut varier, ce qui conduit à laisser plus ou moins de gousses au champ, à récolter un mélange plus ou moins sale (cailloux, adventices), à laisser plus ou moins de paille (F, D), une récolte propre permettant de faciliter le tri des associations après récolte.

L'éventualité de récolter les associations en ensilage n'a été mentionnée qu'une fois (F1) et intervient très rarement selon l'agriculteur B. Au contraire, la souplesse apportée par les associations avec les possibilités de récolter en grains ou en ensilage était mentionné fréquemment par la moitié des conseillers (Chambre d'agriculture de Picardie, de Normandie, de

Bretagne, Civam Pays de Loire, Adabio Rhône-Alpes). Un conseiller de chambre d'agriculture de Normandie précisait que les agriculteurs conventionnels qui faisaient des associations les récoltaient essentiellement en ensilage. Cela explique sûrement la difficulté lors de l'exploration des réseaux à trouver des agriculteurs en AC qui récoltent leurs associations en grains. Un agriculteur a broyé une année une partie de son association pour servir d'engrais vert, mais il ne le referait pas sur une association prometteuse en grains (P1).

Concernant les rendements, la majorité des agriculteurs considèrent que les rendements de leurs associations sont stables : ceci concerne 74% des systèmes. Les exceptions concernent une culture de printemps d'orge-pois protéagineux qui en cas de stress hydrique fait des chutes de rendement (B4), un mélange contenant de la vesce qui faisait tout verser et qui a été abandonné pour cette raison (Cd1), et des cultures encore en phase d'ajustement (P1, P2). La figure 12 présente les rendements par association. Les rendements les plus faibles sont observés pour les associations lentille-cameline, lin-lentille, lentillon-seigle avec moins de 15 qx/ha. Les rendements maximum, autour de 60 qx/ha, concernent des associations féverole-blé (M3), triticale-pois f-féverole-blé (M4) et en AC un mélange féverole-pois protéagineux-pois fourrager-triticale (Du1). Les valeurs de rendement sont cependant à analyser avec précaution. Elles ne sont pas comparables directement entre elles, car il existe de grosses différences entre régions. De plus, ce critère n'est pas toujours un bon indicateur de la rentabilité de l'association, certaines espèces étant beaucoup mieux valorisées que d'autres. Par exemple, le plus petit rendement observé est pour l'association lentillon-seigle mais le lentillon est très bien valorisé, avec peu de charge en désherbage.

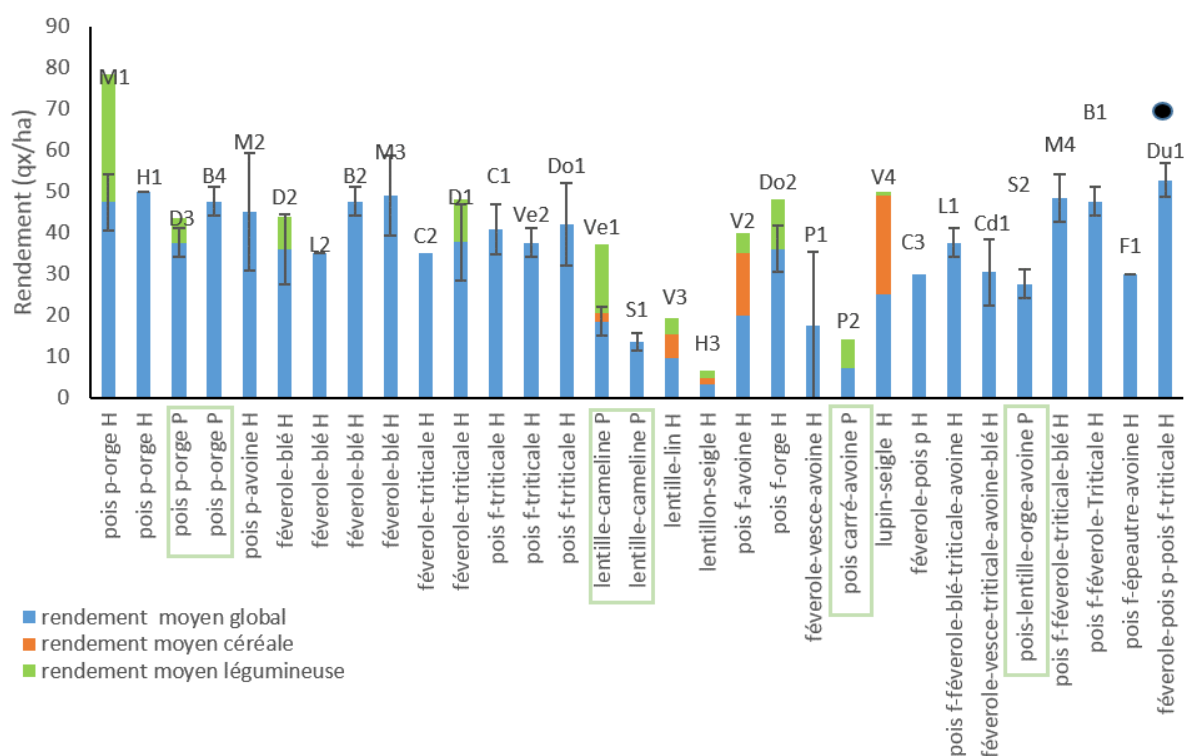


Figure 12 : RENDEMENTS MOYENS DES ESPECES ASSOCIEES (CEREALES ET LEGUMINEUSES) RENCONTREES (en qx/ha). Le détail des rendements des espèces au sein des associations n'est pas toujours disponible. Les écarts types présents sont calculés pour les rendements sur deux-trois années ; quand il n'y a pas d'écart-type, il n'y a pas d'information des rendements sur plusieurs années. Les codes avec des lettres et des chiffres identifient chacun des systèmes étudiés. Les encadrés verts identifient les associations de printemps. Le point noir au-dessus des barres identifie l'association en agriculture conventionnelle.

L'augmentation du taux de protéines des céréales associées a pu être remarquée pour certaines associations et quantifiée quand c'était possible (M1, M3, L2) par rapport à des cultures pures qu'ils ont cultivés auparavant. Comparées à des cultures pures, une orge associée avec du pois protéagineux est passée de 10 à 12 points de protéines (M1), un blé associé à de la féverole est passé de 11 à 13 points de protéines (M3).

2.1.2.5 Pratiques de tri et de stockage

Après la récolte, une partie des agriculteurs trie les graines des différentes espèces. Une association triée peut être vendue séparément à des négociants ou des voisins éleveurs, ou être consommée par le troupeau sur la ferme (Figure 13). Si l'association n'est pas triée, le mélange est autoconsommé dans la moitié des cas, ou vendu en mélange à des négociants ou à d'autres éleveurs (Figure 13). La qualité du tri est étroitement liée au matériel utilisé. Les conditions de stockage et leurs avantages sont différents si les associations sont triées.

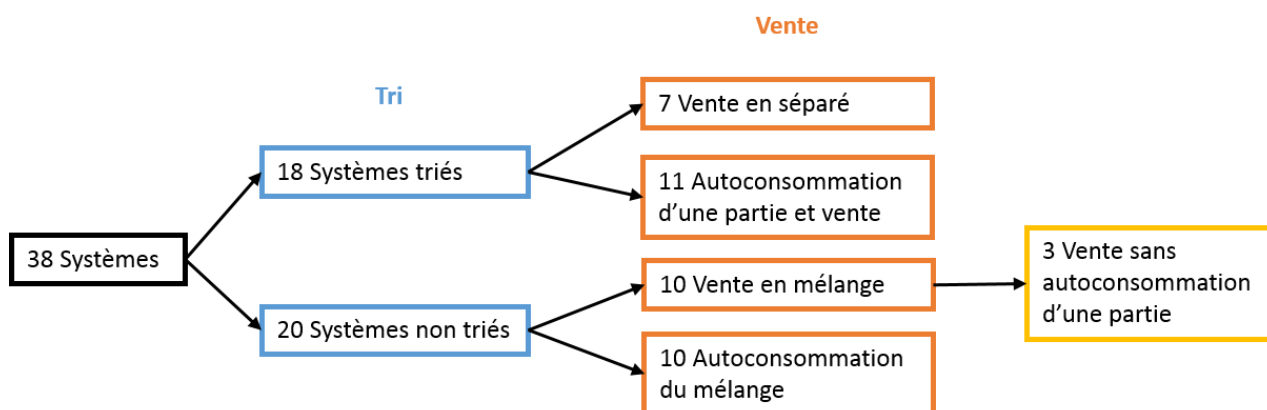


Figure 13 : SCHEMA ILLUSTRANT LA REPARTITION DES ETAPES DE TRI ET DE VENTE DES ASSOCIATIONS RENCONTREES.

Les éleveurs qui utilisent leurs mélanges directement pour l'autoconsommation sont une 10 sur 12 éleveurs. Leurs mélanges non triés sont à un double-emploi : l'autoconsommation et la vente. Seulement 3 éleveurs vendent une association en mélange sans en prélever une partie pour l'autoconsommation. Les agriculteurs qui trient leurs associations peuvent utiliser les espèces séparément, pour l'autoconsommation ou la vente (8).

Les différentes espèces de l'association sont mieux valorisées quand elles sont vendues séparément (M1, L2, S1). Une association peut être pré-triée par l'agriculteur puis retriée par la coopérative afin d'obtenir un tri de qualité, sans brisures, prêt à la vente (C). Si le mélange ne se trie pas bien, selon la propreté de tri à la vente, qu'il y a trop de brisures, de graines d'adventices, de grains bruchés, il peut y avoir des pénalités et des déclassements en fourrager pour des agriculteurs qui visaient des débouchés pour l'alimentation humaine (M1, V3).

Lors de l'achat d'un mélange par un négoce, le mélange peut être payé au prix de la culture principale, comme l'association blé-féverole payée au prix de la féverole alors que le blé meunier a gagné des points de protéines. Cela profite ensuite au négoce pour corriger les taux de protéines de ses farines, mais à l'agriculteur aussi qui y « *gagne sur le plan agronomique avec du rendement en plus* » avec peu de frais par rapport à une culture pure (L2). Dans une association lentille-cameline achetée en mélange, la lentille peut-être payée au même prix qu'une lentille pure, mais la cameline 50% moins chère que la culture pure (S1, V1) car la coopérative prend en compte le coût du tri pour ce mélange où la lentille est la culture d'intérêt. En conventionnel, il est plus facile

de cultiver des légumineuses en pur afin de pouvoir vendre les surplus de l'autoconsommation, que de faire « *des mélanges qui sont invendables* » auprès des négoce et même à des collègues éleveurs qui n'en veulent pas « *pour ne pas se compliquer la vie* » (Du).

Sur l'ensemble des agriculteurs qui ne trient pas leur mélange pour le vendre (20), la majorité (19) en trie une partie pour le destiner au semis de l'année suivante afin de mieux gérer les proportions des espèces dans l'association. Un seul agriculteur resème son mélange tel quel, dont les proportions évoluent donc au fur et à mesure des années (F1). Dans deux autres systèmes P1 et Du1 à base de féverole, seule la féverole est séparée du reste (vesce-avoine ou pois fourrager-pois protéagineux-triticales), lors du tri pour ressemer le mélange, grâce à sa différence de taille. Les agriculteurs n'arrivent pas à séparer les autres espèces par manque de performance de leur matériel.

Le matériel de tri influence la qualité du tri et le temps de travail. Les dimensions des grilles choisies et leurs formes sont plus ou moins restrictives selon l'exigence de propreté de l'agriculteur ou du débouché (C, V). Le matériel et son débit, ainsi que l'aménagement plus ou moins ergonomique, jouent également sur le temps de tri (C). Le matériel peut déterminer le nombre d'espèces qu'il peut trier (mélanges binaires ou multi-espèces) (P). Il peut également permettre de faire des prestations de tri pour les voisins.

Les associations peuvent être stockées. Dans le cas d'un tri, le stockage permet d'avoir de la souplesse dans les délais de triage (B). Si le tri a lieu directement après la récolte, les associations demandent des cellules supplémentaires, une pour le mélange, et deux pour les espèces séparées, ce qui n'est pas toujours possible si les capacités de stockage et le nombre de cellules sont limités (Cd, Do). Le stockage permet de différer les ventes, et d'accepter des clients qui n'ont pas de moyen de stockage comme des éleveurs voisins (M). Les récoltes de 3 associations (Ve1, S1, H3) ne sont pas stockées car elles sont directement livrées chez un voisin ou le négociant à la récolte. Sur les 32 systèmes dont les récoltes sont stockées, 16 font l'objet d'un stock tampon avant la vente. Les associations ou les espèces triées destinées à l'autoconsommation ou au semis de l'année d'après sont stockées toute l'année à plat, dans des cellules ou en big bag. Le stock est le lieu de gestion de la conservation des grains et suit les mêmes principes généraux de conservation que des cultures pures.

3 DES ASSOCIATIONS AVEC DES LOGIQUES DIFFERENTES

3.1 Analyse de la logique des systèmes associés

3.1.1 INFLUENCE DES CONDITIONS PEDOCLIMATIQUES SUR LES ASSOCIATIONS

Le contexte pédoclimatique est à prendre en compte dans le choix des espèces à implanter, des variétés à associer, du type de parcelle, et du type de désherbage à choisir, comme pour les cultures pures. Mais dans un contexte où les fenêtres d'interventions optimales se réduisent pour le semis, le désherbage, la récolte, elles conditionnent le nombre de passages possibles (C2, D3, S1, Cd1, V2, Du1, V4). Ainsi, les cultures nécessitant moins de passages de machine comme certaines associations sont valorisées. L'agriculteur Ba choisit ses associations notamment en fonction de leur comportement vis-à-vis de leur concurrence pour l'eau. Dans l'association Ba3, la culture principale est le soja. Il a déjà testé d'associer le soja avec du carthame mais « *il pompe toute l'eau* », il a donc essayé avec le sarrasin. Cependant, il doit quand même adapter la densité : « *si le sarrasin est semé trop épais, genre 30kg/ha, il prend le dessus et va pomper toute l'eau* ». Les conditions pédoclimatiques déterminent également au sein d'une association les cultures qui domineront. Chaque année, même si les densités par espèce au semis sont les mêmes, les proportions des espèces à la récolte ne sont jamais semblables (D1) mais le rendement global reste constant. Cela a été également mentionné par les conseillers. C'est pourquoi le mélange des variétés et les mélanges pluri-espèces permettent de diversifier les ressources génétiques tout en minimisant les aléas pédoclimatiques (M2). Cependant, des essais d'Arvalis de 2010 à 2012 sur des mélanges variétaux de blé tendre n'ont pas mis en évidence une amélioration de la stabilité des rendements (Arvalis, 2014). Par contre le mélange de deux espèces céréales-légumineuses permet de stabiliser les rendements totaux (Corre-Hellou et al., 2013).

3.1.2 LES LOGIQUES D'INSERTION DES ASSOCIATIONS DANS LES ROTATIONS

L'insertion des associations dans la rotation est raisonnée en tenant compte de différentes problématiques : la gestion de l'enherbement, celle des maladies, les effets précédent, suivant, et les délais de retour (Figure 14).

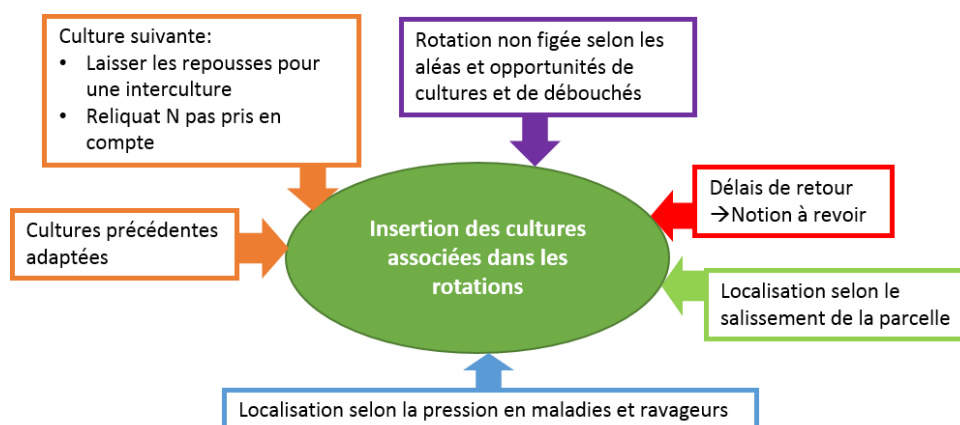


Figure 14 : ENSEMBLE DES DETERMINANTS INFLUENÇANT LES CHOIX D'INSERTION DES CULTURES ASSOCIEES DANS LES ROTATIONS.

Le niveau de salissement des parcelles est pris en compte dans le choix de la place des associations dans la rotation (H). Par exemple, elles sont souvent placées en fin de rotation pour gérer des situations à fort salissement « *pour que l'enherbement soit maîtrisé, selon leur capacité de couverture* » (M). Les mélanges B2 (pois fourrager-triticales-féverole) et Du1 (pois fourrager-pois protéagineux-féverole-triticales) sont placés en fin de rotation « *car ils sont étouffants* » (B2) et « *couvrent bien le sol* » (B2, Du1). Certaines associations couvrent mieux que d'autres et peuvent être placées dans des situations à fort salissement. Une association D3 (orge-pois protéagineux de Printemps) a été mise à la place d'un maïs car « *il y avait beaucoup de chiendent* » : en choisissant de semer une association, « *il y aura une meilleure couverture du sol contribuant à la lutte contre les adventices, surtout que cette association est celle qui couvre le mieux* », et l'agriculteur est sûr « *de récolter quelque chose* », ce qui n'est pas garanti pour une culture pure, face à ces niveaux de salissement. Les conseillers avaient également insisté sur cette capacité des associations à bien se comporter dans des situations à fort salissement. En effet, les associations ont des couverts végétaux plus complexes que les cultures pures, elles entrent en concurrence avec les adventices grâce à plusieurs mécanismes (allélopathie, ombrage, meilleure utilisation des ressources nutritives par l'association...) (Xuan et al., 2003 ; Corre-Hellou et al., 2014 ; Bedoussac et al., 2013,).

Les associations peuvent être placées après des cultures précédentes particulières, comme des « *prairies fatiguées qui sont tassées* » d'après l'agriculteur F. Les associations permettent « *d'aérer le sol via leurs systèmes racinaires différents* » (F1 : épeautre-avoine-pois fourrager). Un conseiller du Civam Pays de Loire avait également mentionné cette fonction de restructuration des sols de prairies ou de luzernière. Effectivement, le pois a un système racinaire pivotant, l'avoine et l'épeautre ont des systèmes racinaires fasciculés puissants caractéristiques des graminées, les racines de l'avoine peuvent descendre jusqu'à 1,5 m (Husson et al., 2012), même si les racines profitent des porosités déjà présentes issues du travail mécanique et de la faune du sol. Pour l'agriculteur L, son mélange L1 : pois fourrager-féverole-triticales-blé-avoine associations l'aide à dégrader le « *chevelu racinaire dense* » des prairies : il s'agit de semer « *autre chose* » que de la prairie pendant un an pour que les racines puissent se dégrader, permettant de ressemer de la prairie plus facilement. Quelques associations sont placées après des cultures nettoyantes afin de bénéficier de l'effet précédent sur l'association (avoine allélopathique avant une association lentille-cameline : S1). Au contraire, certains agriculteurs veillent à éviter des précédents qui engendreraient des problèmes comme une orge allélopathique avant un blé-féverole (C). L'avoine, l'orge et la cameline sont effectivement des plantes allélopathiques (Frick and Johnson, 2012), mais les effets négatifs potentiels sur des cultures suivantes n'est pas clair.

Après la récolte, il y a la possibilité de laisser les repousses de l'association former une interculture (V, P) plus ou moins nettoyante selon les espèces (caméline allélopathique :S1), et qui peuvent fournir des reliquats azotés lors de leur destruction (P, V). La majorité des agriculteurs disent ne pas tenir compte des effets azote de l'association sur la culture suivante, sauf lorsqu'il y a une forte densité de légumineuse. Cependant, un agriculteur H met un blé derrière son association blé-féverole (80% de la dose en pur de féverole) pour profiter de l'effet azoté. Certaines associations sont pensées pour obtenir des reliquats azotés sur la culture suivante (pois protéagineux-féverole) (C3, L2). D'autres placent les associations en deuxième paille, dans des conditions à bas niveau d'azote où elles sont bien adaptées (H), ce qui est confirmé par la recherche (Pelzer et al., 2012 ; Bedoussac et al., 2013 ; Corre-Hellou et al., 2013). Si on met deux légumineuses à la suite, les reliquats azotés ne sont pas autant valorisés que s'il y avait une céréale derrière une légumineuse (D). Il semble logique de placer derrière des légumineuses, une culture ayant de fort besoin en azote pour qu'elle puisse bénéficier des reliquats éventuels.

Mais en règle générale, les rotations incluant des associations ne sont pas fixes, car la présence de plusieurs espèces complique la gestion de l'alternance des cultures. Les rotations peuvent être raisonnées de manière opportuniste, c'est-à-dire en insérant en priorité les cultures à forte valeur ajoutée (maïs popcorn, soja...) à une place dans la rotation la plus favorable (peu d'enherbement, des reliquats azotés, des cultures précédentes d'une autre famille d'espèce...). Les autres cultures qui sont moins bien rémunérées sont ensuite intégrées dans la rotation en essayant de respecter les règles d'alternance si possible (L).

La place des cultures dans la rotation permet également de gérer les pressions de maladies et de ravageurs. Le respect en général d'une alternance entre les familles de plantes (P) et entre les protéagineux (M, Du, Do) est une première pratique, la notion des délais de retour devant être revisitée en association. La répartition spatiale des différentes cultures peut également créer un environnement favorable à la biodiversité (M). Les « *fins de rotation* » peuvent augmenter la pression en maladies et comme les associations sont souvent placées à cet endroit, elles cumulent alors « *les points délicats* » (B), il faut donc veiller à choisir des espèces et variétés adaptées à la situation. L'alternance des cultures de printemps et d'hiver permet de rompre le cycle de certains ravageurs et maladies selon (P), donc les agriculteurs essaient d'alterner leurs cultures (pures ou associées) selon ce critère. Toutefois, cette alternance est plutôt conseillée pour casser les cycles d'adventices (CA 34, 2015). Une plus faible proportion d'associations de printemps a été rencontrée (10 sur 38) principalement des associations orge-pois protéagineux, lentille-cameline, lentille-pois cassé-orge-avoine, pois carré-avoine.

Le délai de retour des associations pose beaucoup de questions (D, Do) : a-t-on toujours besoin d'alterner les familles d'espèces ? Les délais de retour des espèces sont-ils réduits en association ? Quels sont les risques de maladies ? Et chaque agriculteur y répond différemment. Pour les agriculteurs C, Cd et D, les associations sont très souples dans la rotation, on peut faire 2-4 ans d'associations de suite en gardant les règles générales d'alternance (des familles de cultures et des cultures de printemps/hiver). Mais les limites ne sont pas connues par manque de recul (C, Cd, D). D'une manière générale, la majorité des agriculteurs pense que les règles des délais de retour deviennent moins strictes lorsque plusieurs espèces sont mélangées. Certains agriculteurs jugent que tant qu'il n'y a pas de problèmes de maladies, de ravageurs, on peut répéter les associations sur la même parcelle (V). Les densités peuvent devenir des variables d'ajustement dans la rotation, pour se faire succéder des associations avec une dominante protéagineux ou une dominante céréale et jouer sur ces proportions, pour modifier les règles de de retour (C). Très peu de recherche et d'expérimentations ont été menées sur ces questions de délai de retour des associations, qui mériteraient pourtant d'être éclairées. Certains agriculteurs considèrent que le fait de n'avoir que des associations, et une grande diversité d'espèces au sein d'une parcelle entraîne une rotation des plantes dans l'espace qui permet de moins raisonner les rotations dans le temps (P, Ba) : Ba ne fait pas de « *monoculture* » donc il n'a « *pas à tenir compte des délais de retour* » et il n'a aucune pression de maladies. Les agriculteurs P et Ba sèment toutes leurs cultures dans des couverts végétaux, ce qui augmente le nombre et la diversité des espèces cultivées. L'assolement varie selon les années, l'état des plantes, du sol et les opportunités de vente. Ces agriculteurs se réfèrent aux prairies multi-espèces et aux forêts qui conservent les mêmes espèces au fil des ans et qui, grâce à la diversité des espèces, ne souffrent pas de maladies en particulier (P, Ba).

3.1.3 RAISONNEMENT DES ASSOCIATIONS ETROITEMENT LIE A LA LUTTE CONTRE LES ADVENTICES

La volonté de maîtriser l'enherbement, de ne pas désherber, de ne pas traiter, apparait déjà dans les motivations citées pour cultiver des associations (Figure 15). Et tout au long de l'itinéraire technique des associations, différentes pratiques permettent d'augmenter la compétitivité du mélange, de choisir des périodes décalées par rapport au cycle d'adventices, tout en limitant leur stock semencier.

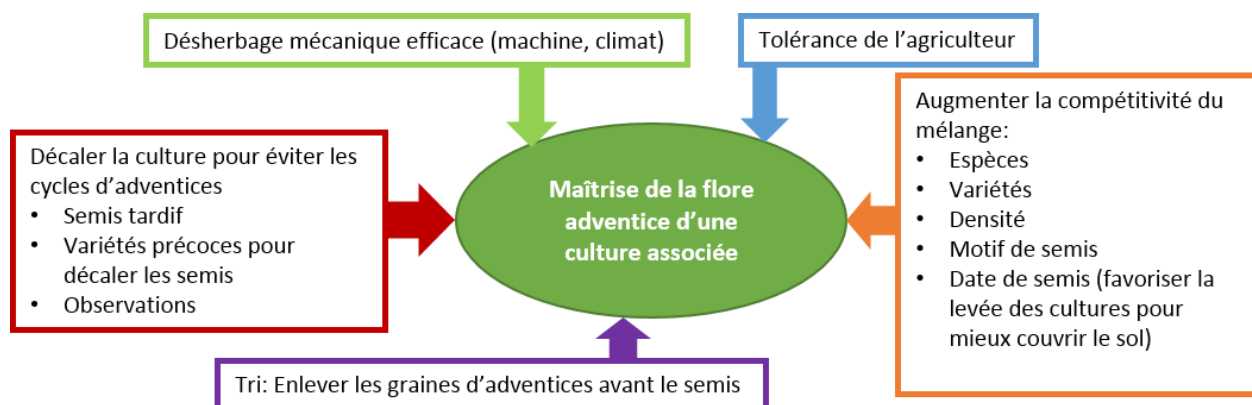


Figure 15 : ENSEMBLE DES FACTEURS QUI PERMETTENT LA MAITRISE DE LA FLORE ADVENTICE D'UNE CULTURE ASSOCIEE.

Augmenter la **compétitivité de la culture** associée par rapport aux adventices est un enjeu très important pour la réussite des associations. Cela passe par une bonne couverture du sol qui se décide en premier lors du choix des combinaisons d'espèces à associer. Tous les agriculteurs affirment souvent chercher des associations qui couvrent bien le sol, par exemple via la complémentarité des espèces. L'agriculteur F qui implante son association F1 dans une prairie, après avoir passé une bêche roulante, cherche des espèces très compétitives comme l'avoine, afin qu'elles puissent s'implanter malgré la concurrence de la prairie. Un autre agriculteur (V) fait la distinction entre la rapidité de couverture du sol (le seigle est, de son point de vue, la céréale qui couvre le sol le plus rapidement et l'avoine le plus lentement), et la compétitivité à l'état adulte (l'avoine est jugée très compétitive, contrairement au blé, particulièrement les variétés courtes). Certaines espèces sont plus couvrantes que d'autres, par exemple le pois fourrager, très volubile, produit beaucoup de biomasse qui vient bien couvrir le sol, l'avoine, l'orge et le triticale couvrent bien le sol aussi, même si en AB par manque de fertilisation, les céréales tallent moins (L1, Do2, H1, C1, Du1) ; la lentille aussi « *couvre bien, fait un beau tapis* » (Ve1), « *elle étouffe bien les adventices sauf la folle-avoine, les chardons et la moutarde sauvage* » (S1). Un agriculteur sème toutes ses cultures associées sous un couvert vivant à base de trèfle blanc en semis direct, comme l'ensemble de ses cultures (Ba). Il obtient ainsi une bonne couverture du sol qu'il faut gérer pour limiter les compétitions entre couvert et culture.

Certaines espèces sont plus compétitives que d'autres. Certains agriculteurs soulignent que des espèces allélopathiques comme la cameline (S1, Ba2), l'avoine (L1, Cd1), le seigle (H3), le sarrasin (Ba3) permettent d'avoir des parcelles assez propres dans l'association. L'avoine, la cameline et le seigle sont en effet connus pour avoir des effets allélopathiques, via la production de composés qui empêchent la croissance d'autres plantes (adventices ou plante cultivées ; Frick and Johnson, 2012). Ainsi que l'indiquent ces auteurs, les effets peuvent être directs et libérés par les plantes vivantes, ou indirects, issus de produits de la décomposition des plantes.

L'association multi-espèces permet de bien couvrir le sol en associant des espèces complémentaires (F1). L'agriculteur Du1 fait la même chose en intégrant dans son mélange triticales-féverole des pois fourragers et protéagineux « *car c'est ce qui couvre le mieux [...] je mélange les deux car s'il y en a une qui n'a pas voulu pousser, l'autre plus costaud prendra le dessus* ». La plasticité des espèces peut aussi être un critère recherché dans les combinaisons, par exemple le blé : « *contrairement à l'orge qui est étouffante et prend le dessus rapidement, le blé on en fait ce qu'on veut car il est moins agressif, si la féverole se développe bien on aura peu de blé mais si la féverole se développe mal, le blé viendra boucher les trous et éviter l'envahissement par des adventices* » (M3).

Des variétés sont choisies par rapport à leur bon potentiel de couverture du sol comme le pois fourrager Assas (Ve2, V1, Du1) ou les pois verts comme Dove qui se ramifient plus, « *qui talle plus que les autres* » et donc couvrent mieux le sol (H1). Un agriculteur préfère choisir des variétés qui couvrent bien même si leur rendement est faible (P1, P2). La précocité des variétés peut interagir avec la lutte contre les adventices. Dans une association lin-lentille, le lentillon de champagne est trop tardif par rapport au lin et donc ne couvre pas assez le sol au début, la lentille verte du Puy est plus adaptée (V3).

Le choix des variétés prend en considération, parmi d'autres critères, la hauteur des plantes, pour augmenter la compétitivité du mélange par rapport aux adventices. Ainsi des blés hauts sont recherchés dans une association qui va être binée afin qu'ils puissent « *couvrir le rang nu et ainsi faire de l'ombre aux adventices* » (M3). Un blé avec une haute tige peut être plus compétitif que le pois fourrager associé qui, faisant beaucoup de végétation, peut faire de l'ombre à des cultures peu hautes (V1).

Les dates de semis sont également à prendre en compte. Un semis précoce début octobre/mi-octobre favorise le développement des cultures leur permettant de couvrir plus rapidement le sol, comme l'avoine et le lin dans l'Orne (V2, V3). Le semis en deux fois d'une association avec de la féverole avec un décalage d'une semaine entre les semis arrange un agriculteur par le « *petit désherbage que fait la houe rotative du semoir* » au deuxième passage, ce qui est possible quand les conditions climatiques le permettent (C2).

Le motif de semis est une autre variable qui est liée avec la problématique de la compétitivité des espèces. Un agriculteur teste cette année de semer une association avoine-pois protéagineux d'hiver avec différents écartements, « *l'avoine à 25 cm et le pois à 12.5 cm pour qu'il se retrouve entre les rangs d'avoine* » et ainsi mieux couvrir le sol. Le semis se fait soit en combiné, soit en ligne pour les associations qui sont binées (M3, V1, V2, V3, V4) avec un écartement adapté à chaque agriculteur (M3 :25cm). Lors d'un semis en deux fois de l'association lentille-camelina, un agriculteur sème la camelina en travers des rangs de lentille pour « *couvrir au maximum le sol* » (Ve1). Un agriculteur a essayé cette année de semer une association féverole-triticales « *serrée, avec des écartements à 12 cm, pour ne pas désherber* » (H).

L'enherbement est également en interaction avec les contextes pédoclimatiques. Comme le dit bien V, « Les problèmes de salissement varient en fonction des adventices déjà en place sur la parcelle, de la densité de levée de la culture, du potentiel de fertilité du sol qui va faire que la céréale va couvrir peu ou beaucoup » (Du1, Cd1).

Le **décalage des cultures avec les cycles d'adventices** est un autre mécanisme qui intervient dans la maîtrise de l'enherbement. Les dates de semis sont des variables intéressantes à moduler. Un semis tardif, soit la dernière semaine d'octobre/ première semaine de novembre permet d'éviter la levée des vulpins pour des associations d'hiver pois protéagineux-orge en Vendée et dans l'Eure (M1, H1), pois protéagineux-avoine en Vendée (M2), pois fourrager-orge dans l'Eure (Do2). Dans une association triticales-pois fourrager d'hiver, un agriculteur choisit la variété Bienvenue car elle est plus précoce donc il peut « *la semer tard dans l'hiver car ça permet*

de décaler les dates de semis pour lutter contre les adventices » dans le Calvados (C1). Un agriculteur Ba a même choisi d'éliminer le ray-grass d'une parcelle en y mettant du soja associé (culture d'été) trois ans de suite, jusqu'à arriver à éliminer l'adventice en question en cassant son cycle.

Une autre solution pour diminuer la pression adventice est de **limiter leur stock semencier**. Lors de la récolte, un agriculteur fait exprès de couper l'association bas, donc il ramasse toutes les adventices afin d'avoir « *un champ propre* » pour la culture suivante même si ça l'oblige à bien nettoyer sa récolte (P1, P2). En revanche, la présence de graines d'adventices type vesce et mouron est très compliquée à gérer car elles sont dures à séparer d'autres graines de la même taille et peuvent entraîner des déclassements, ce qui accentue l'exigence portée à la maîtrise des adventices. Un passage d'écimeuse permet d'empêcher les adventices de grainer, et limiter leur stock semencier (Ve1). L'observation permet de repérer que certaines adventices associées à des cultures pures (renouée associée à la féverole) disparaissent en association (la renouée disparaît quand la féverole est associée) (D1, D2). Certaines adventices ne sont pas favorisées par des associations qui se récoltent précocement (exemple pois protéagineux-orge d'hiver), empêchant les adventices de monter à graines (chardon) (M1, H1). L'agriculteur Ba observe que le vigoureux système racinaire du lin entre en compétition avec le chardon, si bien que le chardon a sa floraison retardée, ce qui l'empêche de s'égrainer avant la récolte.

Les densités globales et par espèce sont des variables d'ajustement importantes qui définissent la capacité de maîtrise des adventices des associations. La relation entre la densité et l'intensité des désherbages de la figure 16 met en évidence que les associations avec plus de deux espèces sont considérées comme bien couvrantes selon les agriculteurs et sont désherbées en moyenne entre zéro et une fois. L'enveloppe tracée sur le graphe met en évidence que lorsque la densité est forte, supérieure à 170% de la densité recommandée en pure environ, il n'est pas nécessaire de désherber sauf si l'association est peu compétitive par rapport aux adventices (V4 :lupin-triticales et V1 :pois fourrager-blé) (Figure 16). En effet, le lupin met du temps avant de couvrir le sol, et le blé est la céréale la moins compétitive (V). Si l'indicateur de densité est inférieur à 170 environ, il y a deux passages de désherbage maximum, et plus si les associations sont peu couvrantes comme V3 et D1. Certaines associations nécessitent d'être désherbées plusieurs fois pour assurer le bon développement des cultures à forte valeur ajoutée comme l'association lin-lentille (V3). L'association D1 féverole-triticales est l'association qui couvre le moins pour l'agriculteur D, il augmente donc le désherbage sur cette dernière. Des associations qui apparaissent peu couvrantes sont en-dessous de l'enveloppe. En effet l'agriculteur qui cultive B2 (féverole-blé), trouve que son désherbage n'est pas efficace et il aimerait essayer de biner. Celui qui cultive l'association L2 (féverole-blé) ne peut pas désherber plus car il ne peut pas souvent « *passer dans de bonnes conditions* ». Enfin, des agriculteurs désherbent leurs associations, mais pensent qu'ils pourraient s'en passer sans avoir de répercussion sur le rendement (Ve2). La tolérance des agriculteurs par rapport à la propreté de leurs parcelles est différente, beaucoup désherbent pour se rassurer comme l'agriculteur Du.

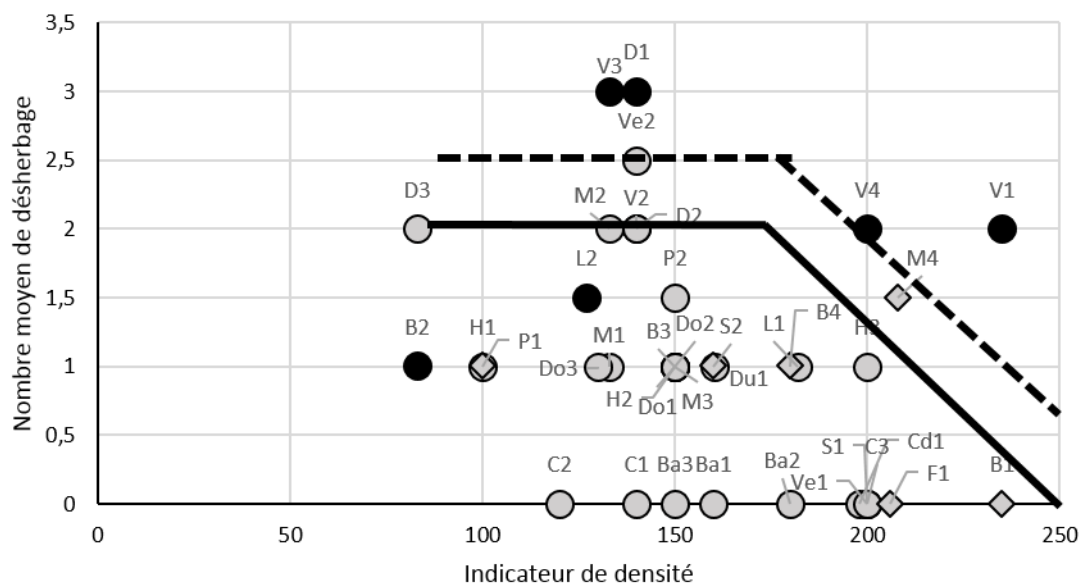


Figure 16 : RELATION ENTRE LE NOMBRE MOYEN DE DESHERBAGES ET UN INDICATEUR DE LA DENSITE DES ASSOCIATIONS. L'indicateur représente la somme des densités de chaque espèce de l'association par rapport au pur (exemple : pour une association substitutive 50/50, la somme obtenue représentant l'indicateur de densité est 100, pour une association additive 100/100, la somme obtenue est de 200). Légende : noir : association qui couvre peu (V3 : lentille-lin, D1 : féverole-triticale, V4 : lupin-seigle, V1 : pois fourrager-blé, L2 et B2 : féverole blé, B3 : lupin-triticale) ; gris : association qui couvre bien. Le symbole losange \diamond indique les mélanges avec plus de deux espèces (M4, B1, F1, P1, L1, Cd1, Du1). Les lignes noires représentent des enveloppes.

Les conseillers décrivaient des associations en AB très peu désherbées en majorité, avec des combinaisons réfléchies pour être complémentaires et couvrir au mieux le sol, l'objectif de l'itinéraire technique d'une association étant de nécessiter le minimum d'intervention soit semer et récolter, appelé le « *bio-cueillette* » par un conseiller. Ce qui est appliqué par les agriculteurs, mais les associations non désherbées ne sont pas majoritaires.

3.1.4 DES LOGIQUES DE CONDUITE DES ASSOCIATIONS POUR PREVENIR LES PRESSIONS EN MALADIES ET RAVAGEURS

En AB, l'impossibilité de recourir à des traitements curatifs de synthèse rend les agriculteurs moins attentifs et sensibles à ces problématiques de gestion des maladies et ravageurs. Mais les associations de cultures permettent malgré tout de diminuer les pressions des maladies et ravageurs via les combinaisons d'espèces, le choix variétal et l'augmentation de la biodiversité auquel elles participent (Figure 17).

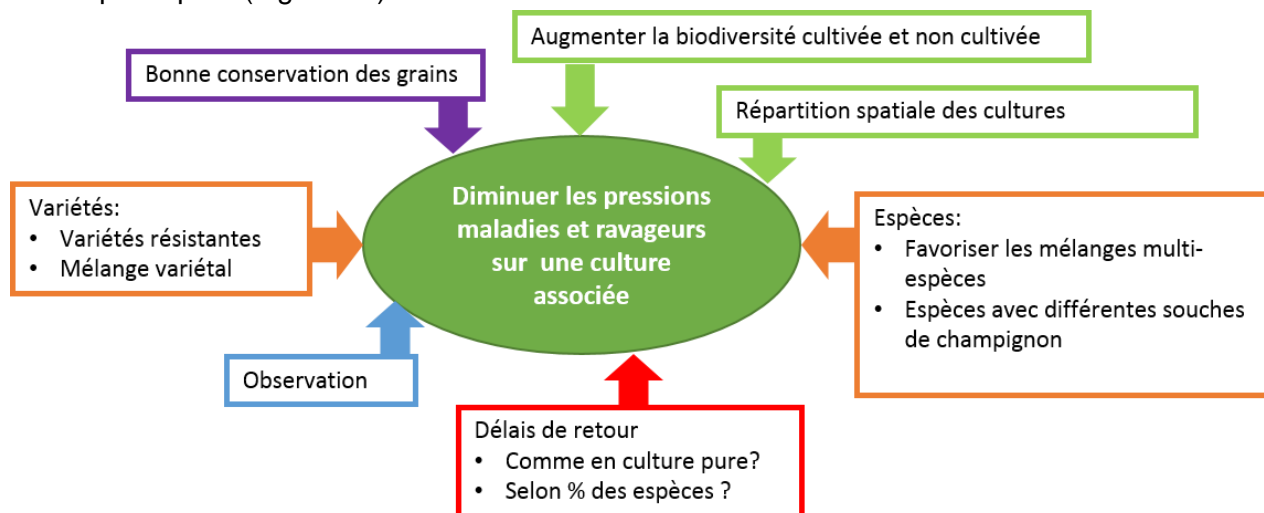


Figure 17 : PRATIQUES DES AGRICULTEURS POUR UNE GESTION DES MALADIES ET RAVAGEURS EN CULTURE ASSOCIEE.

Tout d'abord, 1/3 des agriculteurs disent qu'ils sont moins attentifs, observent et identifient moins les maladies et ravageurs dans leurs parcelles de cultures associées parce qu'ils « *ne peuvent rien faire* » et qu'il n'y a « *pas de solution* » (M, B, V, Do, H, D). Les solutions sont donc, avant tout, préventives.

L'observation joue un rôle important pour adapter les pratiques. Des observations d'agriculteurs montrent que les associations permettent de diminuer les pressions en maladies et ravageurs. L'agriculteur H voit un « *équilibre* » s'établir entre auxiliaires et ravageurs car il « *ne fait rien* », équilibre qu'il ne voit pas dans certaines parcelles de son exploitation en AC où il traite. Un autre agriculteur C a remarqué qu'il y avait moins de bruche dans son association féverole-triticales que dans sa culture pure de féverole. L'agriculteur Du (en AC) voit des limaces dans ses céréales pures, mais jamais dans une féverole pure, ni dans son association féverole-pois fourrager-pois protéagineux-triticales. Elles ne viennent pas « *peut-être grâce à la féverole qui ne les attire pas* » ; la féverole associée n'est pas malade, contrairement à sa féverole pure qu'il surveille attentivement car pour l'antracnose, « *ça va très vite* ». Un agriculteur L a observé qu'il y avait moins de rouille dans son association féverole-blé que dans sa culture de blé pure et féverole pure. Ces observations sont cohérentes avec la bibliographie, l'association jouant un effet barrière par rapport aux maladies (Corre-Hellou et al., 2014). Un agriculteur B a remarqué que la lentille, associée à des espèces qui fleurissent en même temps qu'elle, comme la cameline et le lin, est moins touchée par la bruche. La « *forte odeur des fleurs de cameline et du lin perturbent les bruches qui veulent pondre dans la lentille* », elles se « *repèrent* » moins bien. Une année, il a suffi d'un temps pluvieux pour décaler la floraison de la cameline par rapport à celle de la lentille et il a eu beaucoup de grains bruchés, alors que le lin a une floraison plus longue et n'a pas ce risque d'avoir sa floraison décalée. Les interactions en jeu entre les maladies, ravageurs et les associations sont très

complexes, associées à un manque de connaissance des mécanismes, expliquant le peu de références sur le sujet (Corre-Hellou et al., 2014).

Ce sentiment d'impuissance dû à l'absence de solution curative incite les agriculteurs à prendre des mesures préventives. Ainsi, les agriculteurs choisissent des combinaisons d'espèces pour diminuer les risques de maladies. Par exemple, l'agriculteur B avait des problèmes de fonte de semis sur son triticales associé avec de la féverole et du pois fourrager. Il a donc remplacé cette année une partie du triticales par du blé, moins sensible à la fonte des semis « *pour limiter les dégâts* » (B1). Le choix de variétés résistantes aux maladies est également important pour 30% des associations (M1, M2, M3, M4, B1, L1, L2, Cd1, Do2, H1, C1, Du1). Ce critère de résistance aux maladies est bien sûr un compromis avec d'autres de critères de productivité, de précocité et de tenue de tige par exemple. Un agriculteur M a changé de variété de féverole dans son association avec du pois fourrager, du blé et du triticales (M4): car Gladys, variété à fleurs blanche avec moins de tannins, était trop sensible aux maladies. Pour l'agriculteur M, seul le problème de l'anthracnose n'est pas résolu par les variétés, il existe bien des variétés plus ou moins tolérantes mais elles ne le sont pas assez. L'effet barrière observé dans les mélanges multi-espèces, est renforcé par l'utilisation d'associations de variétés au sein des espèces de l'association pour 23% des associations rencontrées afin d'augmenter la diversité génétique du mélange et de diminuer les risques de maladies (M1, M2, M3, M4, B2, L1, L2, Cd1, V3). Ce sont essentiellement des mélanges de variétés de blés pour les associations B2, L1, L2, Cd1. Dans une association, le fait d'avoir des densités à l'hectare par espèce plus faibles qu'en culture pure (pour des associations substitutives), joue indirectement sur la diminution de la pression en maladies (F1). Ces effets dilution des espèces sensibles, aux maladies, ravageurs, ainsi que l'effet de barrière qui complique la dissémination des maladies, et le repérage des plantes hôtes sont dus à la complexification de l'architecture du couvert (Corre-Hellou et al., 2014). Pour d'autres agriculteurs, le peu de maladies observées sur leurs associations est dû à l'absence de fertilisation, à cause des plants « *qu'il faut éviter de booster en éléments fertilisants pour qu'elles soient robustes aux maladies* » (F1), qu'il ne faut « *pas pousser* » (Ve2). Selon Finch et Collier (2000), le profil chimique des plantes est modifié selon l'état sanitaire et physiologique des plantes. Ainsi, une modification des odeurs ou de l'état physiologique des tissus peut perturber les stimuli permettant aux ravageurs de repérer les plantes hôtes et diminuer les pressions d'attaques (Ndzana et al., 2014).

Un agriculteur fait aussi très attention à la répartition spatiale de ces cultures (en association et en pur) afin de varier les hauteurs de couverts, les fleurs entre ses différentes parcelles pour favoriser la biodiversité au sein de son exploitation. De plus, de nombreux agriculteurs remarquent que les associations de cultures augmentent la biodiversité qui aide à diminuer les pressions de ravageurs (M, H, Du), car « *les fleurs amènent des insectes et des auxiliaires* » (S1), grâce à « *l'augmentation de la diversité cultivée* » (P1) qui fait que « *les insectes sont plus nombreux* » (C). Ces observations sont cohérentes avec la bibliographie : cette diversité végétale présentant des architectures, des variétés et biomasse aérienne différentes augmenterait les populations d'insectes prédateurs et des parasitoïdes sur une même parcelle par rapport à une culture mono spécifique en impactant les ressources et le microclimat (Corre-Hellou et al., 2014).

Cependant, il convient de rester prudent, un agriculteur V faisait beaucoup d'associations toujours à base de féverole, qui revenait souvent sur la même parcelle et il avait beaucoup de bruches, de sitones, et d'anthracnose. Maintenant il alterne les protéagineux dans les associations (lentille, pois fourrager, pois protéagineux, lupin) et il n'a plus de problèmes. Pour un agriculteur C, il y a forcément des dégâts dus à des maladies et des ravageurs, mais avec des rendements peu élevés, il est dur de « *faire le lien entre les performances et les impacts des maladies* ». De plus, 73% des agriculteurs trouvent que les dégâts ne sont pas pénalisants pour leurs associations (M3, B1, B2, B4, F1, Ve1, Ve2, S1, S2, P1, P2, L1, L2, Cd1, Do1, Do2, D1, D2, D3, C1, C2, C3). Pour

la féverole cependant, ce n'est vrai que pour un débouché en alimentation animale qui tolère un certain pourcentage de grains bruchés (V, D).

3.1.5 RAISONNEMENT DES ASSOCIATIONS LIE AU TRAVAIL

Certaines associations en comparaison avec des cultures pures peuvent permettre d'économiser du temps de travail en évitant le désherbage, la fertilisation, et en facilitant la récolte (Table 4). D'autres étapes apportent du travail en plus, avec un semis parfois plus délicat, et le tri. En règle générale, les agriculteurs n'ont pas l'impression que les cultures associées réduisent vraiment le temps de travail mais elles leurs apportent des bénéfices supplémentaires par rapport à des cultures pures, ce qui compense le travail qu'il peut y avoir en plus (Table 4).

Table 4 : COMPARAISON DU TEMPS DE TRAVAIL DES CULTURES ASSOCIEES PAR RAPPORT AUX CULTURES PURES. Le bilan du temps de travail des associations par rapport aux cultures pures est positif, mitigé ou négatif. Les croix représentent les agriculteurs ayant mentionné l'effet.

	Travail en plus			Travail en moins			Bilan
	Mélanger les semences	Semis plus délicat	Tri	Evite désherbage/traitement	Pas de fertilisation	Moins contraignant	
B			X			X	positif
Cd				X	X		positif
F				X			positif
L					X		positif
M	X						mitigé
P			X				négatif
Ba				X	X		positif
S	X						mitigé
Ve		X				X	positif
V			X				négatif
D							mitigé
C	X	X	X				négatif
H			X			X	positif
Du		X		X			positif
Do							mitigé
Total	3	3	5	4	3	3	8 positifs 4 mitigés 3 négatifs

Le semis d'une association de cultures nécessite de mélanger les semences directement dans le semoir ou à la bétonnière pour homogénéiser le semis. Cette étape n'est pas contraignante mais prend plus de temps que de semer une culture pure (M, S, C).

Les associations permettent parfois de diminuer les passages de désherbage par rapport aux cultures pures (Cd, F, Du, C). Les agriculteurs qui font des associations dans le but de se passer du désherbage ont différentes stratégies. L'agriculteur F cherche à diversifier son association, il a trois espèces principales : épeautre-avoine-pois fourrager et il rajoute un peu de blé-lupin-vesce-triticales pour obtenir un mélange multi-espèces qui couvre bien. Cette association

demande « *moins de travail qu'en culture pure* », il a donc plus de temps qu'il consacre à son élevage.

Les associations à base de légumineuse ne sont généralement pas fertilisées, ce qui économise un peu de temps de travail (Cd, L).

Pour 5 agriculteurs qui trient leurs associations, le tri est l'étape qui rajoute le plus de temps de travail par rapport à une culture pure. Ceux qui vendent leurs associations en mélange ou les consomment en mélange sur l'exploitation n'ont pas ce problème. Mais selon l'équipement de tri et l'aménagement de l'atelier, le temps passé à trier peut être optimisé. L'agriculteur C voudrait installer une vis pour évacuer directement les déchets de tri au lieu de mettre des petits sacs qu'il faut remplacer. Il estime le temps de travail pour le tri et la surveillance du tri à 1 heure pour 10 tonnes (C).

Pour savoir si les associations permettent un gain de temps ou au contraire une augmentation de la charge de travail, il faudrait observer chacun des systèmes d'exploitation dans leur fonctionnement propre pour comparer les étapes de l'itinéraire technique. Mais la moitié des agriculteurs considèrent que les associations nécessitent plus de travail ou la même quantité. Toutefois, ils en font un bilan positif pour tous les services qu'elles leur rendent (rendement supplémentaire et stabilité, diversification de la rotation, augmentation de la biodiversité, autonomie en azote, couverture du sol...)

Au sein des cultures associées, certaines pratiques permettent de gagner du temps et de faciliter le travail à la récolte. Lors du choix des espèces à combiner et des variétés, les agriculteurs choisissent des espèces complémentaires pour obtenir un mélange qui se tient bien debout afin de faciliter la récolte (B1, B2, B4, Cd1, H3, Do1, D1, D3, Du1) surtout lorsqu'il y a des espèces volubiles comme le pois fourrager, la lentille, la vesce. Des espèces sont alors intégrées au mélange uniquement pour servir de tuteur à la culture principale, comme pour l'association B4 orge-pois protéagineux où « *l'orge permet de servir de tuteur au pois et éviter qu'il verse, la culture principale étant le pois, et l'orge une culture bonus* ». La densité des espèces qui versent est limitée à un seuil différent pour chaque agriculteur pour éviter la verse. L'agriculteur C, pour son association C1 pois fourrager-triticales, juge qu'il n'a « *pas trop le choix, il ne peut pas dépasser 20kg/ha de pois fourrager sinon le mélange verse* ». Cette densité est également influencée par la tenue de la tige de la culture associée. Pour l'association Do2, orge-pois fourrager, l'agriculteur veut diminuer la densité de pois fourrager de 25 kg/ha à 20 kg/ha « *car l'orge a une tige moins solide que d'autres céréales et peut se faire verser par le pois fourrager s'il y en a trop* ». En effet, une association qui se tient debout est plus simple à récolter, comme le mentionne l'agriculteur M pour son association M1 orge-pois protéagineux « *Le pois est debout contrairement en pur et se ramasse deux fois plus vite qu'en pur* ». Récolter un mélange propre, grâce à une association qui se tient bien debout, en ajustant la hauteur de coupe pour ne pas ramasser trop « *de vert* », et en choisissant des variétés de féverole qui fleurissent plus haut pour les récolter plus haut, permet de se passer de l'étape de nettoyage de la récolte (D1, H3, Cd1, B1).

3.1.6 LES PRATIQUES DES ASSOCIATIONS ADAPTEES AU DEBOUCHE

Que les associations soient vendues en circuit long, ou en circuit court (à un éleveur voisin ou autoconsommées), en mélange ou séparément, les pratiques sont adaptées aux types de débouché et à leurs contraintes spécifiques (Figure 18).

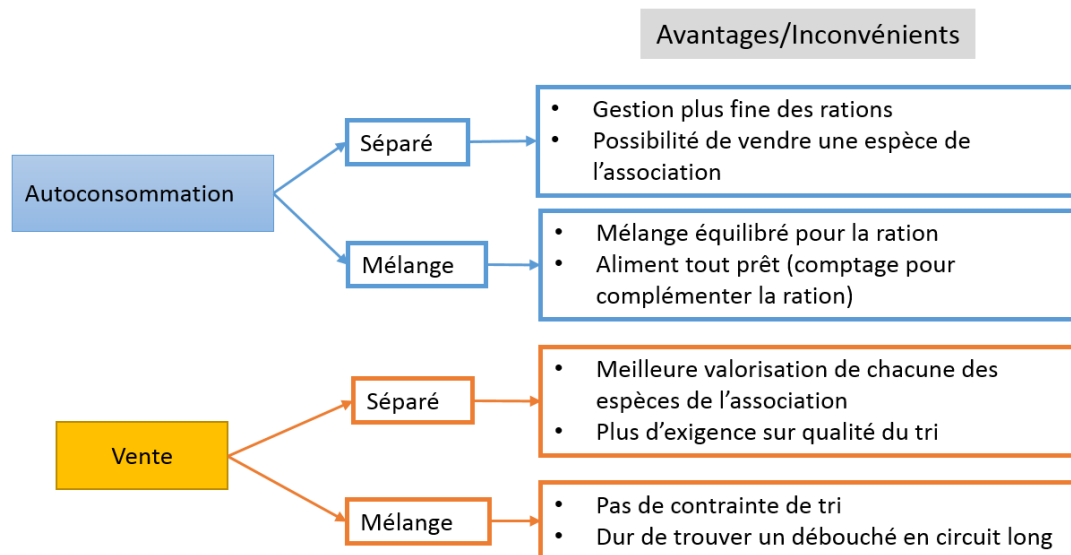


Figure 18 : CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES DEBOUCHEES DES CULTURES ASSOCIEES ET LEURS AVANTAGES ET INCONVENIENTS.

Les associations qui sont consommées sur l'exploitation en partie ou directement en mélange représentent 54% des associations étudiées, avec des élevages différents : laitier (10 associations), allaitant (6 associations), ovin (2 associations), porcin (4 associations) et volailles de chair (6 associations). Les espèces associées et les variétés choisies sont adaptées au type d'élevage. Par exemple, il est recommandé de choisir des féveroles à fleurs blanches qui ne contiennent pas de tannins pour les volailles et les porcs, car ils diminuent la digestibilité du mélange, et des variétés contenant moins de vicine-convicine pour les poules pondeuses, en comparaison avec les variétés à fleurs colorées (ITAB, 2014). Les agriculteurs le savent, mais au vu des petites quantités distribuées, jugent-ils, il n'y a pas d'effets observés (Du1, D, M). Des critères variétaux tels que la résistance à la verse (Du1), la hauteur des gousses (D), la résistance aux maladies (M) sont prioritaires par rapport à la quantité de tannins. Les protéagineux avec une teneur supérieure en protéines sont privilégiés, comme le pois protéagineux (25% de protéines), la féverole (29%) et le lupin (35%), par rapport au pois fourrager (20%) (ITAB, 2014 ; 2014b). En Vendée, des agriculteurs rencontrés essayent de monter un projet de toastage des protéagineux (M, B, F), c'est à dire un traitement thermique capable de supprimer les facteurs antinutritionnels et d'augmenter le taux de protéines assimilables dans l'intestin pour une amélioration de la valeur alimentaire des protéagineux à destination des ruminants et monogastriques (CIVAM, 2015). Si les résultats sont intéressants, l'agriculteur F indique qu'il pourrait mieux valoriser les pois fourragers et être motivé pour cultiver plus de protéagineux. Les éleveurs dont le troupeau consomme les produits de leurs associations ont également des exigences en volume pour avoir suffisamment d'aliment pour l'année (Do), influençant le choix des variétés et des espèces pour avoir le meilleur rendement possible. La paille issue des associations peut être utilisée directement (F1, B2) pour participer à l'autonomie en paille de l'exploitation (pour la litière ou l'affouragement selon le type de récolte), surtout dans un système herbager avec peu de surface destinée aux

céréales (B). Cette valorisation de la paille influence le choix des variétés de céréales avec de longues tiges, et les densités. Ainsi, l'agriculteur B dans son association B2 blé-féverole, avec la moitié de la dose pure pour la féverole et 1/3 pour le blé, lui permet d'obtenir une paille qui lui convient, « *pas trop humide et dure* » deux caractéristiques de la paille de féverole. L'option d'ensiler le mélange n'a été mentionnée que par deux agriculteurs (F et B) mais n'est utilisée, « qu'en cas de sécheresse où les prairies ne sont pas suffisantes » pour des systèmes herbagers. L'agriculteur F, dans son association implantée dans une prairie, a la possibilité, selon l'état de l'association et de la prairie, de récolter en grains, en ensilage ou d'avoir une « *paille de bouche* ». Paradoxalement, la moitié des conseillers avaient insisté sur l'avantage de la souplesse des associations à pouvoir être récoltées en graines ou en ensilage alors qu'elle apparaît très peu ici.

Dans le cas d'une association qui est triée avant l'autoconsommation d'une espèce ou de plusieurs, soit 23% des associations (M1, M2, M3, M4, B1, B2, B3, B4, H1), cette pratique de tri permet une gestion plus fine des proportions d'espèces dans la ration, et de pouvoir sélectionner les espèces les plus adaptées aux besoins des animaux.

Dans le cas de l'autoconsommation des associations directement en mélange soit 23% des associations rencontrées (F1, S2, L1, L3, Cd1, Do1, Do2, Do3, Du1), les espèces et variétés sont adaptées au type d'élevage (élevage laitier, allaitant, porcin) afin d'obtenir un mélange déjà équilibré et prêt à être distribué aux animaux. L'agriculteur F, par exemple, fait une association F1 à base d'épeautre-avoine-pois fourrager-blé-triticales-lupin pour ses vaches laitières. Il en justifie la composition de la manière suivante : l'avoine est bien pour « *un apport de vitamine A en hiver* », l'épeautre est une céréale « *équilibrée de nature* », le pois fourrager « *complète les apports en protéines* », et le « *triticale et le blé permettent d'avoir un peu plus d'énergie* ». Les agriculteurs cherchent dans leurs rations à diversifier les sources d'amidon dans les céréales (blé, triticales, épeautre, avoine), à apporter des protéines avec des protéagineux (pois fourrager, féverole, pois protéagineux), tout en évitant d'obtenir une ration trop acidogène : l'avoine « *avec son grain vêtu diminue la vitesse de digestibilité du mélange* » (Cd1).

Quand les associations sont destinées, en mélange ou en séparé à la vente, les espèces et variétés sont adaptées selon le type de débouché. Un agriculteur choisit des variétés de blé avec une bonne teneur en protéine dans l'objectif de le vendre à la meunerie, un éleveur qui veut « *une belle amende* » pour son élevage choisit des variétés à gros grains, parfois la variété est imposée par le négociant pour correspondre aux attentes des filières. Les agriculteurs font tout ce qu'ils peuvent pour se faciliter le tri. L'agriculteur Ba a essayé d'associer le soja avec du tournesol, mais « *c'était impossible à trier* » et il est donc retourné à une association avec du sarrasin. Les agriculteurs essaient également de faciliter le tri aux collecteurs en choisissant des variétés qui se battent bien, des combinaisons d'espèces qui se trient bien, en évitant de récolter sale car les graines d'adventices peuvent être dures à séparer selon leur taille. Il peut y avoir des volumes minimums exigés afin de rentabiliser le transport de semi-remorques. En effet, les collecteurs doivent pouvoir bien trier les espèces associées tout en minimisant les coûts de tri avec le matériel qu'ils ont pour que l'opération reste rentable, ce qui reste le frein principal selon Bedoussac et al (2013) et Bousseau (2009). Il faut également que les collecteurs aient une organisation logistique adaptée et une forte capacité d'adaptation (Bedoussac et al, 2013).

Un mélange vendu directement à un collecteur simplifie les contraintes de l'agriculteur sur la qualité du tri, mais ne permet pas toujours de valoriser au mieux chacune des espèces du mélange qui peuvent être déclassées ou achetées moins cher qu'en pur (cf 221 b) v.) (M1, L2, S1, V1).

La vente en séparé permet pour des éleveurs de garder l'une des espèces pour l'autoconsommation sur la ferme et de vendre l'autre. Seulement 3 agriculteurs sur 15 vendent leurs associations en séparé sans en autoconsommer une partie : le polyculteur-éleveur V qui complète ses vaches allaitantes avec les déchets de tri, et les deux céréaliers (sur trois) de

l'échantillon Ba et C. Dans le cas de la vente d'une espèce issue d'une association à un collecteur, les exigences de propreté de tri, d'absence de brisures sont plus élevées que dans le cas d'une vente à un éleveur (M1, V3).

4 TYPOLOGIE DES ASSOCIATIONS

Les 38 associations de cultures de l'échantillon ont été regroupées par types à l'aide de l'ACP. Cette typologie a été réalisée sur les variables quantitatives suivantes de l'itinéraire technique puis confrontée à des variables qualitatives comme le tri et le débouché.

- (vi) Nombre moyen des espèces associées (2 à 7)
- (vii) Date de semis : 0=précoce (septembre-début octobre), 1=tardif (fin octobre-début novembre), 2=printemps (mi-mars ou mi-mai)
- (viii) Type de fertilisation : 0=aucune, 1=apport de fertilisant type compost ou fumier. Les associations étant de temps en temps fertilisées ont été placées dans cette catégorie (cf. Figure 10)
- (ix) Nombre moyen de désherbages (0 à 3)
- (x) Quantité de travail : nombre de passages entre le semis et la récolte, inclus ces deux opérations (2 à 6)

Quatre types d'associations ont été distingués à l'issue de ce regroupement (Figure 19.A). Les types répondent chacun à des stratégies différentes. Les deux premières composantes permettent d'expliquer 70% de l'information, et les cinq variables sont bien représentées dessus (Figure 19.B). La répartition des associations selon les composantes principales met en évidence quatre groupes, explicités par un dendrogramme (Figure 19.C). Puis la variable débouché est superposée aux types (Figure 19.D). La variable qualitative du tri a permis par la suite de distinguer des sous types pour le groupe 1. La table X synthétise le profil moyen de chacun des types.

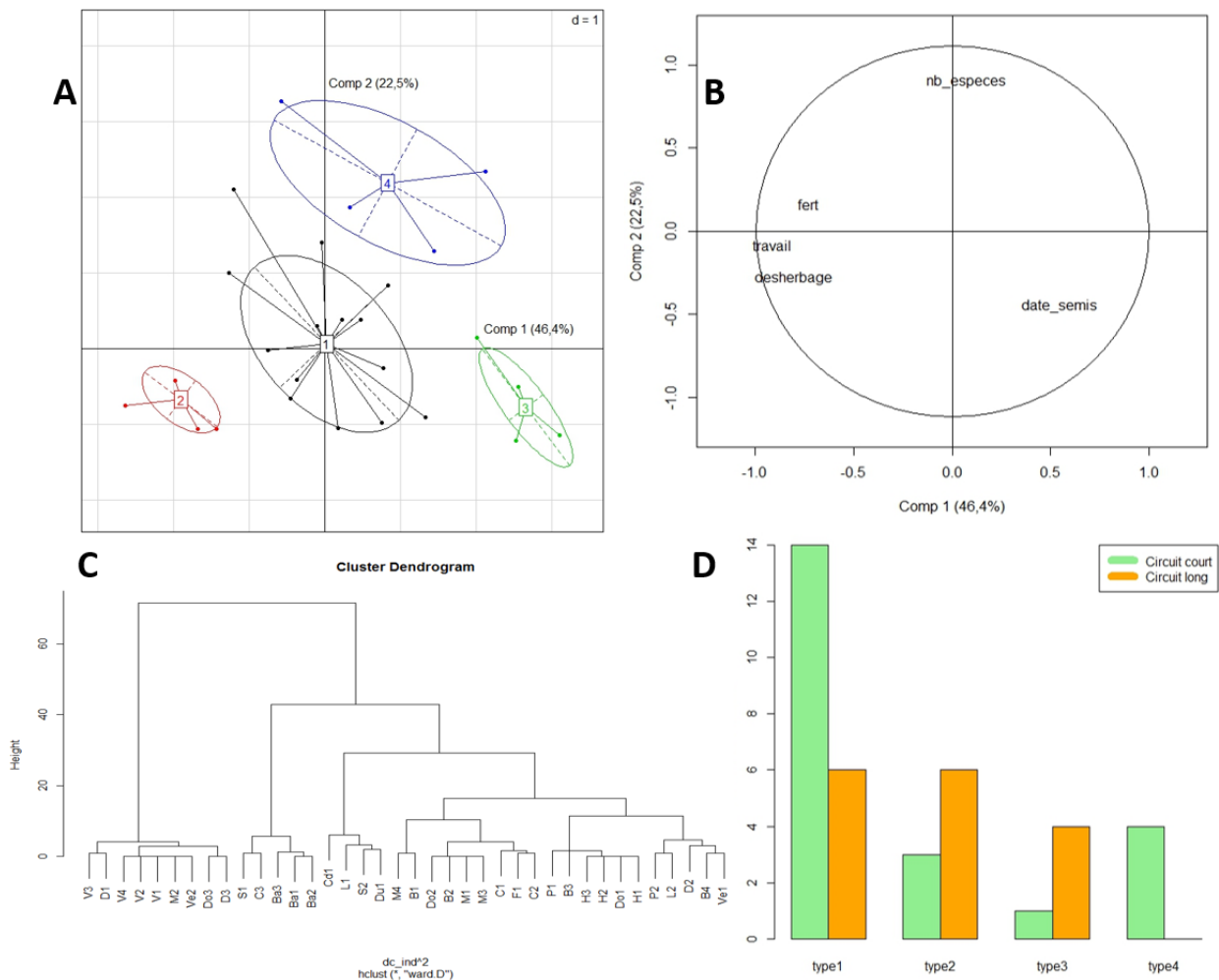


Figure 19 : ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALES DES ASSOCIATIONS SELON CINQ VARIABLES QUANTITATIVES : NOMBRE D'ESPECES, DATE DE SEMIS, FERTILISATION, NOMBRE MOYEN DE DESHERBAGE ET LA QUANTITE DE TRAVAIL. A : Répartition des associations en groupes selon les deux composantes principales B : Les deux premières composantes expliquent 70% de l'information des cinq variables. C : typologie des groupes formés par l'ACP. D : Confrontation des groupes aux types de débouché.

On retrouve dans le type 1, des associations binaires classiques d'hiver comme les pois protéagineux-orge, féverole-blé, pois fourrager-triticales (Table 5). Elles ont un itinéraire technique classique nécessitant peu de travail avec, en majorité, 1 désherbage à la herse étrille ou la houe rotative, et peu fertilisées. Elles sont faciles à mettre en place, avec généralement une bonne couverture du sol, avec des céréales et protéagineux que l'on retrouve souvent chez des éleveurs : triticales, pois fourrager et protéagineux, féverole, lupin, avoine. Elles ont un débouché essentiellement destiné à l'autoconsommation ou la vente à un éleveur voisin. Ce groupe représente les associations et l'itinéraire technique les plus répandus. Il est possible de différencier deux sous-types grâce à la variable du tri. La moitié de ces associations sont valorisées en séparé, afin de pouvoir gérer finement les rations, autoconsommer une espèce et vendre l'autre, ou mieux valoriser les deux espèces dans le cas d'une vente en circuit long. L'autre moitié des associations ne sont pas triées.

Le type 2 est caractérisé par des associations binaires, coûteuses en travail car elles sont toutes fertilisées de temps en temps et désherbées entre 2 et 3 fois (Table 5). La majorité est

désherbée avec une bineuse. Les deux tiers d'entre elles sont vendues en circuit long pour l'alimentation animale ou humaine. La moitié des associations de ce groupe sont considérées comme peu couvrantes par les agriculteurs, à cause d'espèces qualifiées de « *peu compétitives* » comme le blé, « *lentes à démarrer* » comme le lupin et l'avoine, ou « *indispensables à désherber plusieurs fois pour éviter le salissement* » comme le lin. L'autre moitié des associations « *couvrent bien* », mais sont néanmoins désherbées deux fois en moyenne. L'exigence de propreté pour leurs parcelles, manifestée par les agriculteurs de ce groupe, est forte : la majorité des parcelles est désherbée à la bineuse, considérée comme plus efficace que la herse ou la houe sur les adventices ; c'est aussi un outil demandant de la précision et du matériel. Les récoltes des associations sont triées pour être mieux valorisées dans le cas d'une vente en circuit long pour l'alimentation animale ou humaine, ou pour la vente à un éleveur voisin.

Le type 3 regroupe des associations binaires de printemps à base de lentille associée avec de la cameline ou du lin, du soja avec du sarrasin (Table 5). Ces associations nécessitent peu de travail car elles ne sont pas désherbées ni fertilisées. Elles sont destinées à être vendues en circuit long pour l'alimentation humaine. Les associations lentille-cameline sont considérées comme des cultures très couvrantes, ne nécessitant pas de désherbage. Les propriétés allélopathiques de la cameline doivent sûrement expliquer en partie la propreté de cette association, sans recours au désherbage. Les associations lentille-lin et soja-sarrasin sont toutes deux implantées en semis direct dans un couvert à base de trèfle blanc, ce qui participe fortement à la couverture du sol pour éviter tout désherbage. Aucune n'est fertilisée. Ce sont les associations les plus économes en temps de travail, se résumant au semis (en 2 fois pour un agriculteur) et à la récolte. C'est ce qu'un conseiller appelle du « *bio cueillette* ». Les grains sont destinés aux circuits longs, essentiellement pour l'alimentation humaine pour la lentille, la cameline, le lin, le soja et le sarrasin s'ils ne subissent pas de déclassement en fourrager, car c'est un débouché considéré comme très exigeant sur la qualité des grains et du tri. Cependant, les graines ont des tailles très différentes et se trient facilement. Deux des associations sont triées par une coopérative directement.

Enfin, le type 4 rassemble les associations complexes d'hiver avec plus de deux espèces. Ces mélanges sont désherbés une fois, surtout avec une herse ou une houe, et peu fertilisés (Table 5). Tous ces mélanges sont destinés à la consommation par les animaux de la ferme ou d'un éleveur voisin. Ces associations ne sont pas triées et sont consommées telles quelles par les animaux. La combinaison des espèces est donc adaptée à la ration. Il en ressort que les associations avec plus de deux espèces sont très peu valorisées en circuit long, sûrement à cause des coûts de tri que cela peut engendrer. La charge de travail est moyenne avec 3 passages entre le semis et la récolte. Les agriculteurs reconnaissent le bon pouvoir couvrant de ces associations complexes, leur capacité à s'intégrer dans des situations à faible disponibilité en azote et forte pression d'adventices (fin de rotation par exemple). Mais certains agriculteurs désherbent quand même « *pour se rassurer* » disent-ils. Ce type d'association peut complètement changer de composition d'espèces selon les conditions pédoclimatiques, puisqu'il y a plusieurs espèces avec des comportements différents. Selon les espèces qui dominent, leur compétitivité par rapport aux adventices, les besoins en désherbage ne sont pas les mêmes.

En résumé, trois catégories différentes des associations classiques : les associations de printemps non désherbées pour une vente en circuit long, les associations qui couvrent peu et sont beaucoup désherbées et les associations complexes, couvrantes, destinées à l'autoconsommation.

Table 5 : PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE L'ITINERAIRE TECHNIQUES DES 4 TYPES D'ASSOCIATIONS ETUDIEES. Le débouché circuit court concerne les associations autoconsommées ou vendues à un éleveur voisin, circuit long : vente à un négociant pour l'alimentation animale ou humaine. La variable travail représente le nombre moyen de passages entre le semis et la récolte. Un semis précoce a lieu en septembre, un semis tardif fin octobre-début novembre, un semis de printemps mi-mars ou mi-mai.

Classes des associations	Nombre d'associations	Combinaisons d'espèces	Nombre moyen d'espèces associées	Date de semis	Fertilisation	Nombre moyen de désherbage	Outil de désherbage	Tri	Débouché	Travail
-Type n°1- Associations classiques destinées à un circuit court	20	4 multi-espèces 16 binaires dont 4 féverole-blé H 1 féverole-triticales H 3 pois f-triticales H 1 pois f-orge H 2 pois p-orge H 1 pois p-orge P 1 pois c-avoine H 1 lentille-cameline P 1 lentillon-seigle H 1 lupin-triticales H	2,3	5% semis précoce d'hiver 82% semis tardif d'hiver 14% semis de printemps	39% type compost 11% type fumier/ fiente	0,93	62% herse ou houe 21% bineuse	53% triées	71% en circuit court 29% circuit long	3,8
-Type n°2- Associations les plus désherbées avec beaucoup de travail, surtout destinées à du circuit long	9	2 pois p-orge P 1 pois p-avoine H 1 lentille-lin H 1 lupin-seigle H 1 pois f-avoine H 1 pois f-blé H 1 pois f-triticales H 1 féverole-triticales H	2	78% semis tardif 22% semis de printemps	11% sans fertilisation 22% type compost 67% type fumier/fiente	2,2	56% bineuse 44% herse ou houe	56% triées	33% circuit court 67% circuit long	5
-Type n°3- Associations de printemps avec peu de travail pour un circuit long	5	1 lentille-cameline P 1 lentille-cameline P 1 lentille-lin P 1 soja-sarrasin P 1 féverole-pois p H	2	20% semis tardif d'hiver 80% de semis de printemps	—	0	—	60% triées	80% circuit long 20% circuit court	2,2
-Type n°4- Associations complexes destinées à l'autoconsommation en mélange	4	4 multi-espèces	4,25	75% semis tardif d'hiver 25% semis de printemps	75% sans fertilisation 25% type compost	0,75	50% herse ou houe 25% herbicide	Non triées	100% en circuit court	3,25

PARTIE D : DISCUSSION ET LIMITES DE L'ETUDE

1 DES RESULTATS ORIGINAUX

1.1 Une diversité inattendue

Le premier point qui ressort des résultats est la grande diversité des associations rencontrées pour la récolte en grains. Les agriculteurs et les acteurs de terrain qui travaillent sur la thématique des associations en sont conscients, mais les acteurs de la recherche connaissent mal cette diversité (CIAG, 2014). En Europe, il n'est étudié dans la recherche ; qu'un petit nombre d'associations à base de légumineuses à graines, souvent les mêmes : pois-orge, pois-avoine, pois-blé, féverole-blé qui représentent plus de 50% des articles (Web of Science, 2015). En plus du couple déjà connu et étudié, graminée-légumineuse, les agriculteurs rencontrés, ou contactés lors de la phase d'exploration, associent d'autres familles d'espèces : légumineuse-légumineuse, légumineuse-polygonacée, légumineuse-linacée... et associations multispécifiques, et multivariétales...

Les pratiques observées suivent les étapes d'un itinéraire technique classique de cultures pures (semis, désherbage, récolte...), mais avec des variantes propres aux associations de cultures (motif de semis, semis en plusieurs fois, tri). La typologie organise cette diversité, en mettant en évidence un lien entre les espèces associées, les pratiques et les débouchés.

1.2 Des pratiques originales validées par un consensus d'acteurs

Un premier résultat confirme, comme l'étude de Pelzer et al. (2014) et Corre-Hellou et al. (2013), que les motivations principales pour la conduite des associations sont : la volonté de maîtriser les adventices, de garder ou d'augmenter le rendement tout en gagnant en stabilité, d'avoir une culture qui se comporte bien en situation à bas intrants azotés, et de diminuer les pressions en maladies et ravageurs, tout en ayant un mélange adapté au débouché (surtout pour l'autoconsommation).

La notion des délais de retour des associations est peu travaillée en recherche et reste floue en pratique. Il ressort de l'étude que les agriculteurs sont convaincus qu'il est possible d'appliquer avec plus de souplesse les règles de retour des différentes espèces : d'après leur expérience, plus la biodiversité des associations est élevée, plus les délais de retour pourraient être assouplis. Il serait intéressant, pour éclairer les agriculteurs, d'approfondir la question, en s'appuyant sur des expérimentations, afin d'avoir une idée des changements apportés par les associations sur les délais de retour, selon les densités de chaque espèce. Cependant, chaque système de culture est unique, et les règles de base d'alternance des familles d'espèces et des cultures de printemps et d'hiver restent des conseils de prudence. Les travaux récents montrent cependant que la majorité des agriculteurs ne raisonnent plus leurs rotations de manière fixe, mais l'adaptent selon les situations.

Les associations de cultures ont des caractéristiques différentes pour leur capacité à maîtriser l'enherbement, mais elles permettent toujours de mieux maîtriser la flore adventice que les cultures pures (Bedoussac et al., 2013) surtout les protéagineux pur en AB (Pelzer et al., 2014), car leur couvert végétal complexe est plus compétitif dans le temps et dans l'espace vis-à-vis des adventices (Corre-Hellou et al., 2014). Selon le type d'espèce, le nombre

d'espèces associées, la densité de semis ou le type de débouché, les pratiques de désherbage ne sont pas les mêmes.

De nombreuses observations d'agriculteurs mériteraient d'être approfondies en expérimentation ou en recherche, notamment celles relatives aux diminutions des maladies, ravageurs, et adventices. Avec tous les mécanismes en jeu, les interactions entre les facteurs biologiques, physiques et climatiques sont supérieures aux cultures monospécifiques (Corre-Hellou et al., 2014). Mais il y a encore peu de données expérimentales sur les effets des associations sur les ravageurs et les impacts observés sont parfois négatifs (Corre-Hellou et al., 2014). Concernant les maladies, les associations diminuent la pression des champignons phytopathogènes par rapport aux cultures pures, dans les trois quart des 200 articles étudiés par Boudreau (2013). Ces sujets, s'ils étaient davantage renseignés, permettraient de donner des idées d'espèces à combiner pour gérer des problématiques spécifiques.

D'autre part, l'avantage de cultiver ensemble plus de deux espèces, toujours en lien avec la maîtrise des adventices, maladies et ravageurs, est parfois mentionné par les agriculteurs, surtout les éleveurs. L'essentiel des recherches porte sur des associations binaires, les associations plurispécifiques sont quasiment toujours étudiées dans le cadre d'un débouché pour l'ensilage comme dans le CASDAR (8058) qui a testé la modalité triticales-avoine-pois-vesce pour l'ensilage.

La typologie souligne l'importance de considérer des variables comme le tri et la commercialisation comme composantes de l'itinéraire technique, alors que celui-ci est généralement considéré du semis à la récolte : la « combinaison logique et ordonnée » (Sebillotte, 1978) de pratiques inclut aussi bien le choix des espèces, le désherbage, et la récolte que les pratiques de tri et de commercialisation ou autoconsommation.

Il est important de noter le plaisir et l'intérêt intellectuel qu'ont les agriculteurs à cultiver des associations, dans la mesure bien sûr où elles restent des cultures rentables.

1.3 Des pratiques et observations ponctuelles à étudier

Malgré une ouverture très large aux agriculteurs en AC et en AB dans l'échantillon de départ, très peu d'agriculteurs conventionnels cultivant des associations pour les récolter en grains ont été repérés. Les réseaux explorés n'ont peut-être pas permis de les identifier. Mais les associations restent des cultures intéressantes pour des éleveurs qui pourraient les valoriser en autoconsommation car elles diminueraient l'usage de fertilisation azotée et de produits phytosanitaires. Dans les agriculteurs contactés qui faisaient des associations, certains n'en cultivaient que depuis cette année. Ils n'ont pas été enquêtés à cause de leur manque de recul sur les pratiques, mais il pourrait être intéressant d'explorer leurs pratiques dans quelques années. Au contraire, des types de systèmes peu répandus ont été rencontrés, comme un agriculteur en AB qui a tout son système en semis direct sous-couvert vivant sans aucun travail du sol. La possibilité d'associer une culture de rente avec des espèces compagnes, pour mieux couvrir le sol parmi d'autres services, est une piste qui commence à être étudiée. Il y a, par exemple, du colza associé à des plantes gélives, du blé dans un couvert de légumineuses, du maïs associé à des légumineuses (Valantin-Morison et al., 2014). Dans le cas de l'association de plusieurs cultures de rente avec des plantes compagnes, une étude qui associe de l'orge et du pois sous un couvert de trèfle et de ray-grass, montre que les rendements des cultures principales ne sont pas affectés par le couvert (Hauggaard-Nielsen et al., 2012).

Les variétés au sein des associations sont un autre sujet mis en exergue dans cette étude. Les mélanges variétaux sont connus pour réduire les pressions en maladies sur les

céréales en cultures pures. Par exemple, un mélange variétal de blé permet de réduire les infestations de rouille (Cox et al., 2004). Cette pratique se retrouve pour 23% des associations rencontrées, avec des mélanges de variétés de céréales, mais aussi de protéagineux pour augmenter la diversité génétique afin de diminuer les aléas (maladies, climat...). Il serait intéressant d'avoir des références de l'intérêt apporté par les mélanges variétaux, en plus de mélanger les espèces. D'autres problématiques sont apparues : le manque de disponibilité des variétés, des variétés de protéagineux toujours sensibles à l'antracnose, et des variétés non sélectionnées spécifiquement pour leur adaptation à la culture en association. De nos jours, il n'y a pas de semencier qui certifie des variétés spécialement adaptées aux associations (Conseillers, com. Pers.) ; certains feraient des tests de variétés pour voir leur comportement en association, mais pour une récolte en ensilage (com. Pers.). On peut imaginer la difficulté de sélectionner ce type de variétés au vue des nombreuses combinaisons possibles et mécanismes en jeu, et des nombreuses valorisations possibles. Au niveau des résistances variétales des protéagineux aux maladies, de nombreux efforts de sélection ont été réalisés: il existe des variétés de protéagineux avec de très bons comportements vis-à-vis de l'antracnose (Sem-partners, 2015).

Les associations sont des cultures qui apportent de nombreux avantages : peu de désherbage s'il y a une bonne compétitivité par rapport aux adventices, une diminution possible de la pression des ravageurs ou maladies, une souplesse dans la rotation avec des délais de retour moins stricts. Globalement, elles se comportent bien dans des situations avec de nombreux facteurs limitants. Toutefois, des difficultés peuvent se poser. Certaines associations ne se trient pas bien, à cause de la taille et de la forme semblable des graines, de la présence de brisures, d'un matériel non adapté. Le coût engendré élevé peut proscrire le tri de ce type d'association, comme celles avec plus de deux espèces. Certains agriculteurs ont bricolé leurs machines (semoir, trieur...) pour les adapter à leurs pratiques et aux associations. Ce sujet n'a pas été très approfondi lors des entretiens. Mais les innovations technologiques dans le machinisme agricole, adapté à des problématiques d'associations d'espèces, pourraient contribuer à faciliter l'adoption des associations et à en inventer d'autres en diminuant certaines contraintes (tailles de graines différentes, à semer à différentes profondeurs...) et à optimiser le temps de travail (semis, récolte, tri...). En AC se pose le problème de l'homologation des molécules phytosanitaires pour les espèces cultivées ensemble (Bousseau, 2009). Enfin, la valorisation des produits issus des associations est primordiale, que ce soit pour l'autoconsommation, la vente à des éleveurs ou collecteurs, et le manque de débouchés peut être un frein au développement des associations.

1.4 Quel impact sur les connaissances actuelles

L'agroécologie, telle qu'elle est définie par ses précurseurs, est une approche pluridisciplinaire, qui mobilise l'écologie, l'agronomie, la sociologie, la politique, l'économie pour redessiner les systèmes agricoles (Francis et al., 2003). Cette approche nécessite la prise en compte de tous les acteurs du milieu, des chercheurs aux agriculteurs. Les observations des agriculteurs sont indispensables à la recherche, comme source d'informations, d'innovations, comme la recherche est importante aux agriculteurs, pour expliquer les pratiques et les analyser de manière à ce qu'elles puissent être diffusées (Meynard, 2012).

Dans la bibliographie, les associations sont souvent classées selon l'objectif de production : autoconsommation en grains, produire du blé meunier à fort taux de protéines et récolter des protéagineux, assurer une production importante de protéagineux (Bousseau,

2009). Ici, les types mettent principalement en valeur les facteurs débouchés et les pratiques de désherbage. Les associations destinées à l'autoconsommation, principalement les types 1 et 4, sont très peu désherbées, entre 0 et une fois, contrairement aux associations commercialisées pour l'alimentation animale ou humaine, du type 2, qui sont plus souvent désherbées. La typologie différencie les associations qui sont peu compétitives par rapport aux adventices (type 2) et celles qui le sont plus comme dans les types 1 (associations de printemps à base de lentille) et 4 (multi espèces). Les types ne révèlent pas de logique dans la fertilisation des associations, qui semblent être différentes pour chaque agriculteur. De même, le tri n'est pas spécifique à un groupe d'association ni à un débouché, sauf les associations complexes du type 4 qui ne sont pas triées mais utilisées directement pour l'autoconsommation.

Selon les services fournis par les associations, elles sont utilisées différemment par les agriculteurs. Leur sensibilité moindre aux maladies et à certains ravageurs, leur compétitivité par rapport aux adventices influence leur insertion dans des situations soumises à des facteurs limitants comme les fins de rotations. La complexification des couverts favorise l'augmentation de la biodiversité, des insectes en particulier, et diversifie les systèmes de culture. L'association d'une légumineuse et d'une céréale permet d'obtenir des cultures avec de faibles besoins en azote qui utilisent mieux les ressources disponibles. Le mélange de plusieurs espèces permet de stabiliser les rendements.

Les services mentionnés par les agriculteurs et propres à chacun d'eux sont en partie différents des grilles d'indicateurs proposées dans la littérature pour évaluer les services écosystémiques. Ces batteries d'indicateurs comportent souvent des thèmes relatifs au coût environnemental qui ne sont pas des critères évoqués par les agriculteurs, comme l'émission de GES, la pollution de l'air et de l'eau (volatilisation de NH₃, lessivage de NO₃, la consommation énergétique), des indicateurs économiques (valeur ajoutée brute, l'efficacité économique...), et sociaux (contribution à l'emploi, exposition à des produits phytosanitaires toxiques...). Les buts de ces évaluations ne sont pas les mêmes, et il est important d'adapter les indicateurs aux objectifs de l'acteur concerné. Mais les indicateurs inspirés des critères de satisfaction des agriculteurs semblent intéressants à prendre en compte comme l'autonomie en protéines ou en azote, l'accessibilité à un débouché ou encore l'intérêt personnel.

Cette étude confirme tout l'intérêt qu'il y a à cultiver des associations, au niveau agronomique, de l'autonomie en protéines, et de la réduction de la dépendance des systèmes aux engrais azotés... Il apparaît nécessaire de travailler avec les organismes de collecte pour favoriser ces cultures en travaillant à la diminution des coûts engendrés. Car le développement des cultures associées impacte bien sûr les autres acteurs de la filière, surtout les organismes de collecte et stockage qui livrent à des transformateurs ayant des exigences de qualité fortes. Bedoussac et al. (2013) insistent sur le fait que le développement des associations d'espèces ne pourra se faire sans une coordination efficace de tous les acteurs.

1.5 Une méthode originale en cours de mise au point

Des limites peuvent être émises au sujet de cette démarche. La méthodologie de la traque aux systèmes innovants, dans le repérage des agriculteurs, et la manière de traiter les données, valorise le point de vue des agriculteurs. Dans ce stage, la phase de repérage des agriculteurs a été enrichie, avec au préalable, des entretiens auprès des conseillers qui ont permis d'affiner et d'enrichir la suite du travail. Cependant, certaines étapes mériteraient d'être améliorées. Il est en effet difficile avec un échantillonnage de proche en proche qui s'appuie

sur l'exploration de réseaux, de ne pas retomber sur les mêmes personnes et de ne pas réussir à rouvrir d'autres cercles de contacts. Les conseillers et agriculteurs rencontrés ont orientés le sujet par rapport aux points qui leur tenaient à cœur, aux zones géographiques choisies, et influencé l'analyse des données. Même si nous avons pu étudier 38 associations au total, ce qui est suffisant du point de vue statistique, nos enquêtes n'ont concerné que 15 agriculteurs sur 4 régions, ce qui est finalement très faible.

Lors de l'ACP, les variables qualitatives telles que le débouché, le type d'espèce et le tri, n'ont pas été prises en compte, mais ajoutées ultérieurement aux cercles de corrélation, ce qui a probablement réduit la puissance de l'analyse. L'analyse multivariée d'un mélange de variables qualitatives et quantitative est délicate, il est possible de transformer les variables quantitatives en qualitatives en créant des classes, puis de combiner une ACM et une CAH, ou l'inverse en transformant les variables qualitatives en quantitatives pour faire une ACP. Dans ce cas, les variables transformées ne sont pas toutes ordonnées et peuvent poser problème dans l'interprétation de l'analyse.

Il n'y a pas eu de phase d'évaluation des systèmes, contrairement à différents travaux utilisant cette méthodologie (Salembier et Meynard, 2013 ; Petit et al., 2012), à cause de l'échelle restreinte à la culture et non au système de culture et du manque de références pour comparer les associations entre elles.

Enfin, la dernière étape de production de ressources pour l'action et le conseil pourrait être approfondie pour travailler la question de l'adoption de ces innovations, et de la continuité à donner à ces analyses.

CONCLUSION

Le premier enseignement issu de cette étude est la découverte d'une grande diversité d'associations de cultures dans les quatre régions sondées, qui contraste avec les quelques associations étudiées en recherche qui servent de base à la production de connaissances sur les processus en œuvre. L'observation des agriculteurs et leurs expériences accumulées au cours des années grâce à la pratique sont des sources d'informations riches, indispensables à étudier et à mettre en valeur pour compléter les connaissances actuelles, ou en créer d'autres. Les connaissances d'autres acteurs de terrain comme les conseillers sont également très enrichissantes et apportent une vision plus synthétique de la réalité.

Les pratiques culturelles analysées varient selon les combinaisons d'espèces, les agriculteurs et le contexte. L'analyse de la logique agronomique de ces cultures, c'est-à-dire les relations entre les choix techniques successifs, est une étape importante qui permet de dépasser le cas d'étude d'une association cultivée dans un contexte particulier, afin de servir à la construction de références. La typologie qui en découle a montré que les pratiques sont très liées au type de débouché et à la compétitivité du mélange. Des pratiques originales ont été rencontrées à plusieurs reprises, qui peuvent ainsi être validées empiriquement avant de les confronter à d'autres analyses plus scientifiques. Par exemple, la notion des délais de retour des associations semble ainsi être à gérer avec plus de souplesse. Les mélanges variétaux au sein de cultures plurispécifiques permettraient d'améliorer la résistance du mélange aux maladies. Les associations peuvent rendre plusieurs services, et les praticiens les adaptent selon les situations pour en bénéficier.

Malgré de nombreux avantages, les conditions de faisabilité des associations apparaissent principalement liées à la possibilité de les trier, pour favoriser leur valorisation. En particulier dans le cas d'une commercialisation pour l'alimentation animale ou humaine, la possibilité de vendre directement les associations en mélange, ou de valoriser correctement des espèces issues d'associations est limitée par certains collecteurs, faute de rentabilité, de logistique ou de coordination entre acteurs.

La méthode de « la traque » a permis de capter ces systèmes innovants et de les analyser. De nombreuses autres associations restent à découvrir et à faire connaître afin de compléter les connaissances sur le sujet pour participer à la diffusion et à la suppression des freins propres à ces cultures pleines de promesses.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

Articles :

Altieri M. A., 2004. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Front Ecol Environ*. N° 2(1), pp. 35-42.

Bedoussac L., Justes E., 2010. The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant and Soil* n°330, pp. 19-35.

Bedoussac L.; Triboulet P., Magrini M-B.; Rambault G.; Foissy D., Corre-Hellou G., 2013. Conséquences de l'introduction des cultures associées céréale-légumineuse à graines dans les filières. Analyse du point de vue des agriculteurs et des coopératives. *Innovations Agronomiques* n°32, pp.199-212.

Bedoussac L., Journet E.-P., Hauggaard-Nielsen H., Naudin C., Corre-Hellou G., Prieur L., Steen Jensen E., Justes E., 2014. Chapter 3: Eco-Functional Intensification by Cereal-Grain Legume Intercropping in Organic Farming Systems for Increased Yields, Reduced Weeds and Improved Grain Protein Concentration. In: S. Bellon and S. Penvern (Eds.), "Organic Farming, prototype for sustainable agricultures?" Springer, Dordrecht, pp. 47-64. ISBN 978-94-007-7926-6; DOI 10.1007/978-94-007-7927-3.

Betencourt E., Duputel M., Colomb B., Desclaux D., Hinsinger P., 2012. Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biol. Biochem*, n° 46, pp.181-190.

Boudreau M. A., 2013. Diseases in intercropping systems. *Annual Review of phytopathology* n°51, pp. 499-519.

Bousseau D., 2009. Associations céréales-légumineuses et mélanges de variétés de blé tendre : point de vue agronomique et pratique d'une coopérative. *Innovations agronomiques*, volume 7, pp 129 - 137.

Brauman A., Bernard L., Oris F., Taschen E., Pablo A.L., Amenc L., Fustec J., Malagoli P., Hinsinger H., 2011. To what extent the rhizosphere of cereal/legume intercropping represents a specific microbial environment? In: Colloque Rhizosphere 3, 25-30th Sept. 2011, Perth, Australia In Justes E., Bedoussac L., Corre-Hellou G., Fustec J., Hinsinger P., Jeuffroy M.H., Journet E.P., Louarn G., Naudin C., Pelzer E., 2014. Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques. *Innovations Agronomiques* n° 40, pp.1-24.

Callaway R. M., 1995. Positive interactions among plants. *Bot Rev* n°61, pp.306-349.
Carroué L., Bost F., Colin S., Girault C., Humain-Lamoure A.-L., Sanmartin O., Teurtrie D., 2012. Images économiques du monde 2013: Crises et basculements des équilibres mondiaux. Armand Colin, 400p.

Carruba A., La Torre R., Saiano F., Aiello P., 2008. Sustainable production of fennel and dill by intercropping. *Agronomy Journal of Sustainable Development*, n°28, pp. 247-256.

Cavaillès E., 2009. La relance des légumineuses dans le cadre d'un plan protéine : quels bénéfices environnementaux ? *Etudes & Documents*, n°15.

Cavaillès E., 2010. Avantages environnementaux et économiques d'une relance des légumineuses en France. Paris: Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable (SEEIDD) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD).

Cerf M., Sébillotte M., 1997. Approche cognitive des décisions de production dans l'exploitation agricole : Confrontation aux théories de la décision. *Économie rurale* n°239, pp. 11-18.

Chatellier V., Gaigné C., 2012. Les logiques économiques de la spécialisation productive du territoire agricole français. *Innovations Agronomiques*, n°22, pp.185-203.

Colbach N., Lucas P., Cavelier N., 1994. Influence des successions culturales sur les maladies du pied et des racines du blé d'hiver. *Agronomie*, EDP Sciences, 14 (8), pp.525-540 [En ligne]. Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/885658/filename/hal-00885658.pdf>. Consulté le 01/12/2014.

Cornillon P.-A., Guyader A., Husson F., Jégou N., Josse J., Kloareg M., Matzner-Løber E., Rouvière L., 2010. *Statistiques avec R. 2^{ème} édition augmentée. Pratique de la statistique*, Presses universitaires de Rennes.

Corre-Hellou G., 2005. Acquisition de l'azote dans des associations pois-orge (*Pisum sativum* L.-*Hordeum vulgare* L.) en relation avec le fonctionnement du peuplement. *Sciences agronomiques*. Université d'Angers, Angers, France.

Corre-Hellou G., Crozat Y., 2005. N₂ fixation and N supply in organic pea (*Pisum sativum* L.) cropping systems as affected by weeds and pea weevil (*Sitona lineatus* L.). *European Journal of Agronomy*, volume 22, pp 449-458.

Corre-Hellou G., Fustec J., Crozat Y., 2006. Interspecific competition for soil N and its interaction with N₂ fixation, leaf expansion and crop growth in pea-barley intercrops. *Plant and Soil* n°282, pp.195-208.

Corre-Hellou G., Bédoussac L., Bousseau D., Chaigne G., Chataigner C., Celette F., Cohan J.P., Coutard J.P., Emile J.C., Floriot M., Foissy D., Guibert S., Hemptinne J.L., Le Breton M., Lecompte C., Marceau C., Mazoué F., Mérot E., Métivier T., Morand P., Naudin C., Omon B., Pambou I., Pelzer E., Prieur L., Rambaut G, Tauvel O., 2013. Associations céréale-légumineuse multi-services. *Innovations Agronomiques* n°30, pp.41-57.

Corre-Hellou G., Baranger A., Bedoussac L., Cassagne N., Cannavacciuolo M., Joëlle J., Pelzer E., Piva G., 2014. Interactions entre facteurs biotiques et fonctionnement des associations végétales. *Innovations Agronomiques* n°40, pp.25-42.

Cox C. M., Garrett K. A., Bowden R. L., Fritz A. K., Dendy S. P., and Heer W. F., 2004. Cultivar Mixtures for the Simultaneous Management of Multiple Diseases: Tan Spot and Leaf Rust of Wheat. *Phytopathology* 2004, 94:9, pp. 961-969.

Doré T., Makowski D., Malézieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchian M., TITTONELL P., 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy* n°34, pp.197-210.

Feike T., Chen Q., Graeff-Hönninger S., Pfenning J., Claupein W., 2010. Farmer-developed vegetable intercropping systems in southern Hebei, China. *Renewable Agriculture and Food Systems* n° 25(4), pp.272-280.

Finch S., Collier R.H., 2000. Host-plant selection by insects - a theory based on 'appropriate/inappropriate landings' by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata* n°96, pp. 91-102.

Francis, C., Lieblein, G., Gliessman, S., Breland, T.A., Creamer, N., Harwood, R., Salomonsson, L., Helenius, J., Rickerl, D., Salvador, R., Wiedenhoeft, M., Simmons, S., Allen, P., Altieri, M., Flora, C. and Poincelot, R., 2003. Agroecology: the ecology of food systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, n°22, 99-118.

Fridlay J.D., 2001. The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why? *Oikos* 93, pp.514-526.

Fustec J., Lesuffleur F., Mahieu S., Cliquet J.B., 2010. Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development* n° 30, pp. 57-66.

Garnier, E., Navas, M.-L., 2011. A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, n°32, pp.365-399.

Hill S. B., MacRae R. J. 1995. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, n°7, pp. 81–87.

Hauggaard-Nielsen H., Jensen ES., 2005. Facilitative root interaction in intercrops. *Plant Soil* n°274, pp.237-250.

Hauggaard-Nielsen H., Mundus S., Steen Jensen E., 2012. Grass-clover undersowing affects nitrogen dynamics in a grain legume–cereal arable cropping system. *Field Crops Research*, n°136, pp. 23–31.

Jensen E., 1996. Grain yield, symbiotic N₂ fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant Soil* n°182, pp.25-38.

Jensen E.S. et Hauggaard-Nielsen H., 2003. How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment? *Plant and soil*, volume 252, Issue 1, pp. 177-186.

Jeuffroy M.H., Baranger E., Carrouée B., de Chezelles E., Gosme M., Hénault C., Schneider A., Cellier P., 2013. Nitrous oxide emissions from crop rotations including wheat, rapeseed and dry peas. *Biogeosciences*, n°10, pp.1787-1797.

Justes E., Bedoussac L., Corre-Hellou G., Fustec J., Hinsinger P., Jeuffroy M.H., Journet E.P., Louarn G., Naudin C., Pelzer E., 2014. Les processus de complémentarité de niche et de facilitation déterminent le fonctionnement des associations végétales et leur efficacité pour l'acquisition des ressources abiotiques. *Innovations Agronomiques* n° 40, pp.1-24.

Kreuzer K., Bonkowski M., Langel R., Scheu S., 2004. Decomposer animals (Lumbricidae, Collembola) and organic matter distribution affect the performance of *Lolium perenne* (Poaceae) and *Trifolium repens* (Fabaceae). *Soil Biology & Biochemistry* n°36, pp.2005-2011.

Lamine C., Meynard J.-M., Perrot N. and Bellon S., 2009. Analyse des formes de transition vers des agricultures plus écologiques: les cas de l'agriculture biologique et de la protection intégrée. *Innovations Agronomiques*, n°4, pp. 483-493.

Louarn G., Pereira-Lopès E., Fustec J., Mary B., Voisin A.S., de Faccio Carvalho P.C., Gastal F., 2015. The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover based grass-legume mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality. *Plant and Soil* (sous presse).

Magrini M.B., Fares M., Filippi M., 2011. La signalisation de la qualité chez les petites coopératives agricoles françaises. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, 176.

Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* n° 29, pp. 43-62.

Mantelin S., Touraine B., 2004. Plant growth promoting bacteria and nitrate availability: impacts on root development and nitrate uptake. *Journal of Experimental Botany* n°55, pp.27-34.

Meynard J.M., 2012. Innovating in cropping and farming systems. In « Renewing innovation systems in agriculture and food: How to go towards more sustainability ? » Edited by E. Coudel, H. Devautour, C.T. Souldard, G. Faure, B. Hubert. Wageningen Academic Publishers. Chapter 5, pp. 89-108.

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, Synthèse du rapport d'étude, INRA.

Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis. Washington: Island Press [en ligne], Disponible sur <http://www.millenniumassessment.org/en/inde x.aspx>, Consulté le 24/06/2015.

Moussart A., Even M.N., Tivoli B., Evaluation du niveau de résistance intrinsèque de différentes espèces de légumineuses cultivées, à *Aphanomyces euteiches*. INRA UMR BiO3P, Rennes, Février 2011. [en ligne], Disponible sur <http://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/aphanomyces-legumineuses.pdf>, Consulté le 25/05/2015.

Munier-Jolier et Carroué. Quelle place pour le pois dans une agriculture respectueuse de l'environnement. Cahiers agriculture, 2003, volume 12, n°2, pp 111-120.

Naudin C. Corre-Hellou G., Pineau S., Crozat Y., Jeuffroy M.-J., 2010. The effect of various dynamics of N availability on winter pea–wheat intercrops: Crop growth, N partitioning and symbiotic N₂ fixation. *Field Crops Research* n°119, pp.2-11.

Naudin C., Corre-Hellou G., Voisin A.-S., Oury V., Salon C., Crozat Y., Jeuffroy M.-J., 2011. Inhibition and recovery of symbiotic N₂ fixation by peas (*Pisum sativum* L.) in response to short-term nitrate exposure. *Plant & Soil*, n° 346, pp.275-287.

Nemecek T., von Richthofen J.-S., Dubois G., Casta P., Charles R., Pahl H., 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy*, volume 28, issue 3, 2008, pp. 380-393.

Pelzer E., Bedoussac L., Corre-Hellou G., Jeuffroy M.-H., Metivier T., Naudin C., 2014. Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse. Actes du Colloque Associations végétales, Angers, 20 Novembre 2014.

Pelzer E., Hombert N., Jeuffroy M.-J., Makowski D., 2014. Meta-Analysis of the Effect of Nitrogen Fertilization on Annual Cereal–Legume Intercrop Production. *Agronomy Journal* 106(5), pp.1775-1786.

Petit M.S., Reau R., Dumas M., Moraine M., Omon B., Josse S., 2012. Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. *Innovations Agronomiques* n°20, pp.79-100.

Poggio S. L., 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agriculture, Ecosystems and Environment* n°109, pp. 48-58.

Salembier C., Meynard J.-M., 2013. Evaluation de systèmes de culture innovants conçus par des agriculteurs: un exemple dans la Pampa Argentine. *Innovations Agronomiques* n°31, pp.27-44.

Sebillotte M., 1978. La collecte des références et les progrès de la connaissance agronomique. Exigences nouvelles pour l'agriculture : les systèmes de culture pourront-ils s'adapter ? INA P-G, Chaire d'Agronomie, Paris.

Schneider A., Flenet F., Dumans P., Bonnin E., De Chezelles E., Jeuffroy M., Hayer F., Nemecek T., Carrouee B., 2010. Diversifier les rotations céréalières notamment avec du pois et du colza, Données récentes d'expérimentations et d'études, OCL Vol 17 n°5, pp. 301-311.

Schott, C.; Mignolet, C.; Meynard, J.M., 2010. Les oléoprotéagineux dans les systèmes de culture: évolution des assolements et des successions culturales depuis les années 1970 dans le bassin de la Seine. OCL - Oléagineux, Corps Gras, Lipides, 17 (5), pp. 276-291.

Stachowicz, J. J. 2001. Mutualism, facilitation, and the structure of ecological communities. *BioScience* n°51, pp. 235-246.

Rochette P. et Janzen H.H., 2005. Towards a Revised Coefficient for Estimating N₂O Emissions from Legume. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Volume 73, Issue 2-3, pp 171-179.

Thiébeau P., Badenhausser I., Meiss H., Bretagnolle V., Carrère P., Chagué J., Courtye A., Maleplate T., Médiène S., Lecompte P., Plantureux S., Vertès F., 2010. Contribution des légumineuses à la biodiversité des paysages ruraux. *Innovations Agronomiques* n°11, pp.187-204.

Valentin-Morison M., David C., Cadoux S., Lorin M., Celette F., Amossé C., Basset A., 2014. Association d'une culture de rente et espèces compagnes permettant la fourniture de services écosystémiques. Actes du colloque Associations végétales, Angers, 20 Novembre 2014.

Voisin A.-S., Salon C., Munier-Jolain N. G., Ney B., 2002. Quantitative effects of soil nitrate, growth potential and phenology on symbiotic nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L). *Plant and Soil* n°243, pp. 31-42.

Voisin A.-S., Guéguen J., Huyghe C., Jeuffroy M.H., Magrini M.B., Meynard J.M., Mougél C., Pellerin S., Pelzer E., 2013. Les légumineuses dans l'Europe du XXI^e siècle : Quelle place dans les systèmes agricoles et alimentaires actuels et futurs ? Quels nouveaux défis pour la recherche ? *Innovations Agronomiques* n°30, pp.283-312.

Voisin A.-S., Guéguen J., Huyghe C., Jeuffroy M.-J., Magrini M.-B., Meynard J.-M., Mougél C., Pellerin S., Pelzer E., 2013b. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, DOI 10.1007/s13593-013-0189-y.

Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D. and David, C., 2009. Agroecology as a science, a movement or a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, n°29, pp. 503-515.

Wiley R. W., 1979. Intercropping – Its importance and Research Needs. Part 1 ; Competition and Yield advantages. *Field Crop Abstract* n°32, pp.1-10.

Xuan T.D., Tsuzuki E., Terao H., Matsuo M., Khanh T.D., 2003. Correlation between growth inhibitory exhibition and suspected allelochemicals (phenolic compounds) in the extract of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant Production Science* n°6, pp.165-171.

Colloques:

CIAG (Carrefour de l'innovation agronomique), 2014. Colloque sur les associations végétales, 20 Novembre 2014 à l'Ecole Supérieure d'Agriculture, Angers.

Meynard J.-M., 2014. Traque aux systèmes de culture alternatifs à la monoculture de soja dans la Pampa argentine. Séminaire RMT Systèmes de culture et agriculteurs innovants en transition vers l'agroécologie « Traque aux innovations » Paris, 2 Décembre 2014.

Reau R., 2014. Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. Séminaire RMT Systèmes de culture et agriculteurs innovants en transition vers l'agroécologie « Traque aux innovations » Paris, 2 Décembre 2014.

Salembier C., 2014. Traque aux pratiques atypiques pour alimenter la conception de systèmes de culture économes en pesticides en maraichage sous abri. Séminaire RMT Systèmes de culture et agriculteurs innovants en transition vers l'agroécologie « Traque aux innovations » Paris, 2 Décembre 2014.

Sites internet :

ADAR 2004, « Cultiver des associations céréales-protéagineux : Des intérêts agronomiques, économiques et environnementaux à découvrir. Rapport technique final », Projet UNIP, [en ligne], Disponible sur, http://www.unip.fr/uploads/media/Rapport_final_CasDar_Association.pdf, Consulté le 15/06/2015.

AFOCG (Association de Gestion et de Compatibilité), 2015. Supplément PAC 2015. Annexe du bulletin n° 125 du 20 avril 2015, [en ligne], Disponible sur http://www.afocg.fr/data/info/15_04_spac.pdf, Consulté le 15/06/2105.

AGRIDEA, 2013. Caméline, n° 4.61.1., [en ligne], Disponible sur http://www.bioactualites.ch/fileadmin/documents/bafr/production-vegetale/grandes-cultures/FT_cameline_AGRIDEA_2013.pdf, Consulté le 26/05/2015.

Alter Agri, 2009a. Fiche culture : Lin oléagineux, n°97, [en ligne], Disponible sur http://abiodoc.docressources.fr/opac/doc_num.php?explnum_id=1951, Consulté le 18/05/2015.

Alter Agri, 2009. Fiche culture : La caméline, n°96, [en ligne], Disponible sur http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_culture/camelina-web.pdf, Consulté le 18/05/2015.

Arvalis, 2014. « Mélanges de variétés : quels avantages en attendre ? », Perspective agricole, Juin 2014, [en ligne], Disponible sur <http://www.arvalis-infos.fr/peut-on-disposer-de-seuils-de-traitement-pour-tous-les-bioagresseurs--@/view-15911-arvarticle.html>, Consulté le 15/06/2015.

CA 34 (Chambre d'agriculture de Normandie), 2015. Bien concevoir sa rotation. [en ligne], Disponible sur http://partage.cra-normandie.fr/bio/bio_rotation.pdf, Consulté le 15/06/2015.

Carroué L., 2012 Images économiques du monde 2013: Crises et basculements des équilibres mondiaux. Dossier 1, n°416 Historiens et géographes. [en ligne], Disponible sur <http://www.pedagogie.ac-nantes.fr/1328102640682/0/ficheressourcepedagogique/&RH=1160761636828>, Consulté le 28/01/2015.

CIVAM, 2015. Agroécologie : transformer les protéagineux pour gagner en autonomie alimentaire. Transformer les protéagineux pour mieux valoriser ses protéines en élevage ruminant et monogastrique. Atout Trèfle 76. Pays de Loire. [en ligne], Disponible sur http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CDEQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.civam-paysdelaloire.org%2Fspip.php%3Daction%3Daccéder_document%26arg%3D347%26cle%3D27e20f1505d27ef2e0df60d19808a4b77ba1839%26file%3Dpdf%252FArticle_Toasteur.pdf&ei=3iJnVfmlBYmzggSZlICwCQ&usg=AFQjCNEcc_11fY77cP_SKIsIJUYr2XdmeQ&sig2=FcfSO9_5e69G1v141Mmflg&bvm=bv.93990622,d.eXY, Consulté le 26/05/2015.

CRA-Normandie (Chambre régionale d'agriculture de Normandie), 2013a. Le lupin, la graine très riche en protéines qui pousse en Normandie. [en ligne], Disponible sur http://partage.cra-normandie.fr/bio/bio_lupin.pdf, Consulté le 18/05/2015.

CRA-Normandie (Chambre régionale d'agriculture de Normandie), 2013. La féverole : un concentré protéique et énergétique. [en ligne], Disponible sur http://partage.cra-normandie.fr/bio/bio_feverole.pdf, Consulté le 18/05/2015.

Frick B., Johnson E., 2012. Utilisation des cultures allélopathiques et des couvre-sol pour maîtriser les mauvaises-herbes.[en ligne], Disponible sur http://www.organicagcentre.ca/extension/ext_weed_allelopathic_f.asp, Consulté le 18/05/2015.

Husson O., charpentier H., Michellon R., Razanamparany C., Moussa N., Enjalric F., Naudin K., Rakotondramanana, Seguy L., 2012. Fiches techniques plantes de couverture : Graminées annuelles. Avoine (*Avena sativa* et *Avena strigosa*). Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Volume III. Chapitre 3. § 1. [en ligne], Disponible sur <http://www.supagro.fr/ress-pepites/PlantesdeCouverture/res/avoine.pdf>, Consulté le 26/05/2015.

ITAB (Institut d'Agriculture Biologique), 2006. Stockage à la ferme des grains issus de l'agriculture biologique. [en ligne], Disponible sur http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_culture/stockage%20grains.pdf, Consulté le 18/05/2015.

ITAB (Institut d'Agriculture Biologique), 2012. Désherber mécaniquement les grandes cultures. Projet : optimiser et promouvoir le désherbage mécanique, Casdar 2009-2011. [en ligne], Disponible sur http://www.cetiom.fr/fileadmin/cetiom/Cultures/Colza/desherbage/desherber_mecaniquement_grandes_cultures.pdf, Consulté le 18/05/2015.

ITAB (Institut d'Agriculture Biologique), 2014. Fiche technique : la culture de la féverole en AB. [en ligne], Disponible sur http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_culture/fiche-feverole.pdf, Consulté le 18/05/2015.

ITAB (Institut d'Agriculture Biologique), 2014b. Fiche technique : le pois protéagineux en AB. [en ligne], Disponible sur http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_culture/fiche-pois.pdf, Consulté le 26/05/2015.

Jalby V., 2014. Echantillon, chapitre 2, Analyse des données, M1 AES, Université de Limoges, [en ligne], Disponible sur http://www.unilim.fr/pages_perso/vincent.jalby/m1aes/cours/m1aes_02.pdf, Consulté le 18/05/2015.

Sem-Partners, 2015. Catalogue 2015-2016, Agriculture Biologique : céréales-couverts végétaux-protéagineux. [en ligne], Disponible sur <http://www.sem-partners.com/doc/varbio.pdf>, Consulté le 21/06.

UNIP, 2012. Les atouts des protéagineux, pour les systèmes de culture, l'élevage et l'environnement. [en ligne], Disponible sur http://www.unip.fr/uploads/media/plaquette_proteagineux.pdf, Consulté le 17/06/2015.

UNIP, 2015. Conditions d'implantation du lupin. [en ligne], Disponible sur <http://www.unip.fr/lupin/conditions-dimplantation.html>, Consulté le 26/05/2015.

Web of Science, 2015. Recherche bibliographique avec l'équation de recherche: intercrops* AND legum* NOT (vineyard OR pastures OR grassland OR orchard OR clover OR trifolium OR melilotus OR companion OR « living mulch » OR forage OR fodder OR grass) AND europe AND grain, Disponible sur [webofscience.com](http://www.webofscience.com), Consulté le 25/06/2015.

ANNEXE : LE GUIDE D'ENTRETIEN

Présentation générale de l'exploitation agricole

Présentation de l'agriculteur (à vérifier à la fin)

Nom : |_____|
Prénom : |_____|
Adresse : |_____|
Code Postal : |__|__|__|__| Ville : |_____|
Tél 1 : |__|__|__|__|__|__|__|__|__|__| Tél 2 : |__|__|__|__|__|__|__|__|__|__|
Mail : _____

L'agriculture est-elle votre activité principale ? Oui Non

Autres activités :

Caractéristiques générales de l'exploitation agricole

Pouvez-vous présenter votre exploitation ? (type de sol, surface, parcellaire)

SAU totale : |__| ha

Mode de faire valoir : quelle est la surface de vos terres en fermage/propriété ?

Les associations de culture à base de légumineuses à graines

Conduite technique des associations

Quelles sont les associations que vous cultivez cette année ? Et les années précédentes ?

On va choisir de décrire l'association 1 :

Pourquoi faites-vous ces associations ?

Quel est l'itinéraire technique de l'association ? ITK de l'année passée et les variations dues aux autres années : a-t-il toujours fait comme ça ? Avez-vous testé des choses que vous n'avez pas maintenues ? Depuis combien de temps cultivez-vous des associations ? Quelles espèces sont associées ? pourquoi ces espèces (tuteur, ...)

Précédents : raison particulière de ce choix ?

Interculture/gestion de la destruction du précédent

Travail du sol ?

Semis (date, dose, densité, profondeur, motif de semis...)/ 1 seul passage ou plusieurs ?

→ La manière habituelle de faire, puis les variations

- **Choix variétal** : Quelle variété choisie sur chaque espèce, sur quels critères ? Y a-t-il des critères de choix dominants ?
- Y a-t-il des critères de choix secondaires ?
- Trouvez-vous des variétés répondant à ces critères (ex. précocité recherchée) ?

- A la récolte jugez-vous que les objectifs visés par ces critères sont atteints ?
 - Quelles sont les caractéristiques variétales recherchées spécifiquement dans le cadre de ces associations (c'est-à-dire que vous ne recherchiez pas particulièrement en culture pure) ?
 - Où ou comment trouvez-vous des informations sur les variétés que vous recherchez ? (type de support, conseillers, échanges avec d'autres agriculteurs, résultats d'essai en AB ou AC...)
 -
- Quelles informations sur les variétés vous manquent pour faire vos choix ? variabilité/résultats ? Mélange de variétés ? Qui fournit les semences, quels freins dans l'offre variétale actuelle ?

Fertilisation (quantité, type, dates, effet reliquat N) : comment est-elle déterminée (pas d'outil d'aide à la décision) ?

Maîtrise des adventices : comment faites-vous ? Désherbage mécanique, dose, nombre de passages, est-ce que le choix des espèces à associer a un effet sur le contrôle des adventices ? (capacité de couverture du sol, allélopathie, complémentarité)

Maladies, ravageurs : (produits, dose, surface, dates, seuil déclenchement, matière active homologuée), effet des associations sur cette pression ?

Récolte ? Date, stade repères pour le déclenchement ? Produit récolté (graines ? fourrage ? plante entière ? ...), type de batteur ? Efficacité ? Problèmes rencontrés ?

Tri ? À la ferme, par la coopérative, prestataire ?

Stock ? Quel type ? Volume ? Problèmes ?

Difficultés rencontrées dans la mise en place de ces cultures ? (*récolte, intrants, adventices, bio-agresseurs...*)

Quelles sont les opérations les plus **contraignantes** /critiques? *Pourquoi* ?

Dans quelle rotation s'insère l'association (DR) ? Interdits précédents/ suivants ? Quels sont les suivants qui ont marché, pas marché ? Pourquoi ? Interculture ? Pourquoi pas en tête de rotation ?

Quels changements sur les cultures suivantes, la rotation par rapport à une culture pure ? (Modifications d'ITK, baisse intrants, pression phyto, rendements) Quelles contraintes à ces changements (temps de travail etc.)

Résultats :

Rendement et qualité des associations sur 5-10 ans ? (tx protéine,...) ? Variabilité et satisfaction ?

Prix de vente des cultures associées ?

Les ressources productives

Le foncier

Quelle est la surface que vous cultivez en associations de culture ?

Où sont placées les associations sur votre exploitation ? Y a-t-il des contraintes de localisation ?, dans quelles parcelles ? À quelle distance de l'EA, dans quels types de sol (petites terres...) ? Avec des aménagements (drainage, irrigation) ?

Organisation du travail

Y a-t-il des différences dans l'organisation et la quantité de travail pour une association par rapport à des cultures pures ?

Comment avez-vous appris à cultiver ces associations, ces techniques ? Cela vous a demandé un travail spécifique de recherche d'infos, de conseils ? Etes-vous suivi par un technicien ?

Cela vous plait d'avoir à apprendre à gérer de nouvelles cultures de ce type ou est-ce une contrainte, du travail en plus ?

Quels sont les freins qui vous empêchent de mettre en place plus d'associations dans votre assolement / rotation des cultures ?

Matériel et équipement

Considérez-vous être suffisamment équipé pour cette culture? Si non qu'est-ce qui bloque ? Futurs investissements ? Besoin d'un matériel, investissement spécifique pour cette culture ?

Est-ce votre matériel ? Utilisez-vous du matériel en CUMA ? Lequel ?
Avez-vous recours à un entrepreneur (ETA) ? Pour quels travaux ? Nb d'heures ?

Interaction avec les productions animales

Les associations ont-elles un lien avec l'atelier animal ?

Si oui :

Description des ateliers, races, effectifs (ruminant, monogastrique)

Utilisez-vous le fumier pour fertiliser l'association ? Quantité, dates, type si pas abordé avant

Utilisez-vous vos associations en alimentation animale ? Si oui ...

Lesquelles ? Pourquoi ? Proportion dans la ration ? De quels animaux (jeunes, engraissement, ..) Valeur alimentaire ?

Comment avez-vous **intégré les** légumineuses dans votre ration ? Détail de la ration ? Exigences en PDI, UF ? Effet sur les animaux ?

Les règles de décision

Depuis quand et pourquoi cette association ? (qu'est-ce qui fait qu'il s'est mis à cette culture, quel a été l'élément déclencheur) Quels sont vos objectifs ?

Quel usage ? (autoconsommation, vente à la coopérative, privé, alimentation humaine ou animale, quelles exigences (qualité, volume minimum...) ? la qualité de récolte vous satisfait ? *Quels critères ?*

Envisagez-vous des évolutions quant à ces cultures dans votre exploitation ? *Introduction nouvelles espèces, augmentation ou baisse surface, abandon,...*

1.5.1 Caractérisation des performances

Qu'attendez-vous de cette association, quels **services, bénéfiques** observez-vous, quels inconvénients ?

Et pour la légumineuse ?

Ces associations répondent-elles à vos attentes, **êtes-vous satisfait**? Pourquoi êtes-vous content de ce mode de production ?

Qu'est ce qui fait que vous êtes satisfait d'une innovation (de nouvelles techniques) et que vous la pérennisez dans l'exploitation ? **Que faudrait-il améliorer ?**

Comment vous évaluez **l'intérêt économique** de cette culture ?

Que pensez-vous de la **sécurité financière, stabilité** par rapport aux associations? (*volatilité des prix, dépendance du marché*)

Que pensez-vous de la souplesse de cette culture associée ? Vous permet-elle des ajustements, des variantes en fonction de situations différentes ?

Relations avec les réglementations

Avez-vous connaissance **d'aides financières** liées à la production de légumineuse, association de cultures ? En bénéficiez-vous ? Combien ? Si non pourquoi ?

Est-ce que ça changerait quelque chose si vous étiez propriétaire ou locataire de vos terres ?

Connaissez-vous des agriculteurs qui font des associations d'une autre manière que vous?

FIN