HAL open science

Les systèmes de cultures favorables à l'expression de la régulation biologique

Lucile Bretin

To cite this version:

Lucile Bretin. Les systèmes de cultures favorables à l'expression de la régulation biologique. 2015. hal-01458653

HAL Id: hal-01458653

https://hal.science/hal-01458653v1

Submitted on 5 Jun 2020

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

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

Institut **S**upérieur d'**A**griculture et
d'Agroalimentaire de **R**hône - **A**lpes
23 rue Jean Baldassini
69 364 LYON CEDEX 07

Institut **N**ational de la **R**echerche **A**gronomique
Unité SAD – Paysage
65 rue de Saint Brieuc
35 000 RENNES

Les systèmes de cultures favorables à l'expression de la régulation biologique

Caractérisation de ces systèmes et de leur complexité de mise en œuvre

Mémoire de Fin d'Etudes
43ème promotion
Soutenu le 11 Septembre 2015

Lucile BRETIN
Elève ingénieur ISARA – Lyon

Enseignant responsable :
Mathieu GUERIN

Directeur de Mémoire :
Alexandre JOANNON

Ce document ayant été réalisé par une élève-Ingénieur de l'ISARA-Lyon dans le cadre d'une convention avec l'ISARA-Lyon, toute mention, communication ou diffusion devra faire état de l'origine ISARA-Lyon

TABLES DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX

INTRODUCTION 1

PARTIE I: CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE 3

1.1. Synthèse bibliographique 3
1.1.1. La régulation biologique : un service d'intérêt 3
1.1.1.1. Description du processus de régulation biologique 3
1.1.1.2. L'intérêt de la régulation biologique pour l'agriculture 5
1.1.1.3. La régulation biologique: un service écosystémique menacé 5
1.1.1.4. Un manque de connaissance pour contrer ces menaces 5
1.1.2. L'impact des pratiques agricoles sur la régulation biologique 6
1.1.2.1. A l'échelle de la parcelle 7
1.1.2.2. Le mode de production 11
1.1.2.3. A l'échelle du paysage 13
1.1.3. Les pratiques alternatives à l'usage des produits phytosanitaires 15
1.1.3.1. Le raisonnement des rotations culturale : un levier d'importance 15
1.1.3.2. Travail du sol et gestion des résidus de culture (déchaumage, broyage) 17
1.1.3.3. Un semis plus dense et décalé dans le temps 19
1.1.3.4. Fertilisation azotée et irrigation : des apports à raisonner selon les besoins 20
1.1.3.5. Un raisonnement à différentes échelles : de la parcelle au paysage 20
1.1.4. La prise en compte de l'échelle du système de culture, de sa complexité et des règles de décisions 22
1.1.4.1. La cohérence agronomique des systèmes de cultures : évaluer les effets d'une pratique culturale à différentes échelles d'espace et de temps 22
1.1.4.2. La complexité de mise en place de nouvelles pratiques: l'enjeu des ressources productives 23

1.2. Problématique & hypothèses: 26

PARTIE II: METHODOLOGIE 27

2.1. En amont : la mobilisation des données 27
2.1.1. La collecte de données via des entretiens auprès d'agriculteurs 27
2.1.2. Des données mobilisables déjà disponibles 27

2.2. En aval : l'analyse des informations collectées 29
2.2.1. L'effet des systèmes de culture sur la régulation biologique 29
2.2.1.1. Les pratiques à priori favorables à la régulation biologique 29
2.2.1.2. La corrélation des systèmes avec les mesures de carabes 2014 30
2.2.2. Caractérisation des systèmes de culture et de leur complexité de mise en œuvre 31
2.2.2.1. L'analyse globale 31
2.2.2.2. Première composante caractérisant le système de culture: l'assolement 32
2.2.2.3. Deuxième composante caractérisant le système de culture: l'itinéraire technique. 33
2.2.2.4. Troisième composante caractérisant le système de culture: la stratégie décisionnelle des agriculteurs 34

PARTIE III: RESULTATS 34

3.1. L'effet des systèmes de culture sur la régulation biologique..... 34
3.1.1. Les pratiques à priori favorables à la régulation biologique au sein du système de culture..... 34
3.1.1.1. Typologie des systèmes de culture selon l'effet théorique de leurs pratiques sur la régulation biologique 34
3.1.1.2. Les raisons expliquant la mise en place des pratiques favorables à la régulation biologique 36
3.1.2. Corrélation des groupes de système de culture prédéfinis à partir de la bibliographie avec les mesures SEBIOPAG 2014 42
3.1.2.1. Les moyennes d'abondance et de richesse spécifique en carabes pour chaque groupe de système de culture prédéfini à partir de la bibliographie 42
3.1.2.2. Typologie des systèmes de cultures à partir des mesures 2014: comparaison avec le classement basé sur la bibliographie..... 42
3.1.2.3. Typologie finale 44

3.2. La conduite de ces systèmes de culture et leur complexité de mise en œuvre 46
3.2.1. Assolement et succession culturale comme variables de complexité..... 46
3.2.1.1. L'analyse à dire d'expert..... 46
3.2.1.2. L'analyse statistique 48
3.2.1.3. Comparaison entre l'analyse à dire d'expert et l'analyse statistique 49
3.2.1.4. Les facteurs conditionnant la complexité de la rotation 50
3.2.2. Des itinéraires techniques plus ou moins complexes 51
3.2.2.1. Les passages potentiels: l'aspect chronophage des interventions culturales..... 51
3.2.2.2. Les opérations optionnelles : l'aspect décisionnel de l'intervention 54
3.2.2.3. La sous – traitance, un impact à double aspects sur la complexité de l'itinéraire technique 55
3.2.2.4. Les éléments pouvant expliquer les choix d'itinéraire technique 56
3.2.3. La stratégie décisionnelle : un élément clé de la conduite du système..... 59
3.2.3.1. Classification des agriculteurs selon leur stratégie de décision 59
3.2.3.2. Les opérations optionnelles: une autre variable caractérisant la complexité de la prise de décision 61
3.2.3.3. Les raisons expliquant les stratégies décisionnelles des agriculteurs 61

3.3. Corrélation entre impact sur la régulation biologique des systèmes de culture et complexité de mise en œuvre..... 63
3.3.1. Les systèmes de culture peu favorables à la régulation biologique 63
3.3.2. Les systèmes de culture favorables à la régulation biologique 64

3.4. Les raisons expliquant les choix des agriculteurs..... 66

PARTIE IV: DISCUSSION 67

PARTIE V: CONCLUSION.....69

BIBLIOGRAPHIE.....72

ANNEXES 78

Remerciements

Je tiens à remercier vivement Alexandre Joannon, qui m'a encadrée tout au long de ce stage de fin d'études, pour sa disponibilité et son suivi régulier, ses conseils avisés et ses retours minutieux. Je remercie également Mathieu Guérin pour ses retours avertis.

Un grand merci également à toute l'équipe du SAD Paysage de Rennes, dont l'accueil enjoué, l'esprit collectif et l'ambiance chaleureuse a permis à ce stage de se dérouler dans des conditions optimales. Chaque membre de l'équipe a pris le temps de m'apporter son aide au cours de cette étude ou de me faire découvrir son domaine de travail, quelle que soit sa discipline, et je leur en suis très reconnaissante. Merci pour votre contribution, de près ou de loin, à ce projet.

Merci aux agriculteurs ayant participé aux enquêtes, pour leur temps précieux et leurs explications détaillées, sans qui cette étude n'aurait pas été possible.

Je remercie enfin Agathe Valory et Kristell Jégou, stagiaires également, sans qui ce stage n'aurait pas été aussi riche en rebondissements et n'aurait pas eu la même saveur au quotidien.

LISTE DES ABREVIATIONS

AB : Agriculture Biologique

AC : Agriculture Conventionnelle

ACP : Analyse en Composantes Principales

CAH: Classification Ascendante Hiérarchique

CNRS: Centre National de Recherche Scientifique

CUMA : Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole

EARL: Exploitation Agricole à Responsabilité Limitée

ETA : Entreprise de Travaux Agricoles

GAEC: Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

IFT: Indicateur de Fréquence de Traitement

INRA: Institut National de la Recherche Agronomique

MAAPRAT : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire

SAD: Science pour l'Action et le Développement

SAU: Surface Agricole Utile

SCEES: Service Central des Enquêtes et Études statistiques

SEBIOPAG: Services Ecosystémiques assurés par la BIOdiversité dans les Paysages Agricoles

TCS: Technique Culturales Simplifiées

UTH: Unité de Travail Humain

LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX

Les figures

Figure 1: Le projet SEBIOPAG et sa place dans une opération plus globale…….. 3
Figure 2: Comparaison de jachère de grande surface et de bordure de champ étroites d'âges différents, en termes de (a) nombre d'espèces et (b) rapport proie/prédateur chez les arthropodes se développant sur l'armoise, dans les fermes expérimentales proches de Göttingen (Allemagne).. 9
Figure 3: Modèle explicatif général des interactions agriculture – biodiversité 14
Figure 4: Localisation des 20 parcelles SEBIOPAG et leur mode de production..... 28
Figure 5: Les sites de recherches impliqués dans le réseau SEBIOPAG 28
Figure 6: Exemple d'un paysage dans le cercle de 1km² autour du centre de la parcelle sélectionnée . 29
Figure 7: Les systèmes de cultures favorables à la régulation biologique en termes d'abondance et de richesse spécifique d'auxiliaires de cultures (carabes) 43
Figure 8: Typologie finale des exploitations favorables à la régulation biologique (réalisée sur la base de la bibliographie et des mesures 2014 d'abondance et de richesse spécifique en carabes) 45
Figure 9: Typologie des systèmes de cultures selon la complexité de leur rotation réalisée à partir de l'analyse à dire d'expert 46
Figure 10: Classification à partir des quatre variables du paramètre rotation, selon les 3 axes principaux (ACP réalisée sur R cmdr)..... 48
Figure 11: Typologie finale des systèmes de cultures selon la complexité de leur rotation réalisée après comparaison entre l'analyse statistique et l'analyse à dire d'expert 49
Figure 12: Typologie des systèmes de cultures selon la complexité de l'itinéraire technique basé sur l'aspect chronophage des opérations à partir de l'analyse à dire d'expert et de l'analyse statistique (réalisé à partir d'une ACP sur R Commander en prenant en compte les 2 axes principaux)..... 53
Figure 13: Typologie des systèmes de culture selon la complexité de leur itinéraire technique basé sur l'aspect chronophage des opérations, après comparaison entre l'analyse statistique et à dire d'expert 54
Figure 15: Contribution des quatre variables sélectionnées à l'explication de la diversité de l'échantillon pour le paramètre rotation (ACP réalisée sous R commander) 91
Figure 14: Contribution des six variables du paramètre rotation à l'explication de la diversité de l'échantillon (ACP réalisée sous R commander)..... 91
Figure 16: Classification en trois groupes à partir des quatre variables du paramètre rotation sélectionnées, en prenant en compte les 3 axes principaux : graphiques et descriptif des classes 92
Figure 17 : Classification en cinq groupes à partir des quatre variables du paramètre rotation en prenant en compte les 3 axes principaux (ACP réalisée sous R commander)..... 93

Figure 18: Classification en trois groupes à partir des quatre variables du paramètre rotation en prenant en compte les 2 axes principaux (ACP réalisée sous R commander) graphiques et description des groupes 94
Figure 19: Classification en cinq groupes à partir des quatre variables du paramètre rotation en prenant en compte les 2 axes principaux (ACP réalisée sous R cmdr) : graphiques et description des groupes 95
Figure 20: Analyse statistique à partir des mesures d'abondance et de richesse spécifique en carabes (ACP réalisée sous R commander)..... 107
Figure 21: Typologie des systèmes de culture à partir de l'analyse statistique des mesures d'abondance et de richesse spécifique en carabes (CAH réalisée sous R commander) 108
Figure 22: Evaluation de la corrélation entre les variables ressources productives et rotation via l'ACP : matrice et graphique (réalisée à partir de R commander)..... 114
Figure 23: Cartographie de l'assolement d'AC1 115
Figure 24: Cartographie d'assolement d'AC11 116
Figure 25: Exemple de deux assolements d'un parcellaire peu complexe 117
Figure 26: Typologie selon la complexité de l'itinéraire technique sur la base du nombre de passages systématiques 119
Figure 27: Contribution des trois variables du paramètre itinéraire technique à l'explication de la diversité de l'échantillon (ACP réalisée sous R commander) 120
Figure 28: Graphiques rendant compte de la classification en trois groupes à partir de trois variables du paramètre itinéraire technique en prenant en compte les 2 axes principaux 121
Figure 29: ACP réalisée à partir de trois variables actives caractérisant l'itinéraire technique et des variables illustratives caractérisant les ressources productives disponibles (réalisée sous R cmdr) .. 123

Les tableaux

Tableau 1: Les différentes tâches et objectifs associés du projet SEBIOPAG 2
Tableau 2: Corrélation entre pratiques agricoles alternatives à l'usage de produits phytosanitaire et favorables à la régulation biologiques 21
Tableau 3: Les différentes variables des ressources productives 32
Tableau 4: les six variables de complexité de l'assolement 32
Tableau 5: Caractéristiques des groupes d'exploitations selon leur système de culture considéré comme à priori plus ou moins favorables à la régulation biologique 35
Tableau 6: Freins et intérêt à la mise en place des pratiques favorables à la régulation biologique 41
Tableau 7: Abondance et richesse spécifique moyenne des carabes pour chaque groupe de systèmes de culture selon leur impact préjugé sur la régulation biologique 42
Tableau 8: Matrice permettant d'évaluer d'éventuelles corrélations entre les variables ressources productives et rotation (ACP réalisée sur R Cmdr) 50
Tableau 9: Classification des systèmes de culture selon la complexité de leur itinéraire technique basé sur l'aspect chronophage et décisionnel des interventions 55
Tableau 10: Corrélation entre impact sur la régulation biologique et complexité de mise en œuvre des systèmes de cultures 65
Tableau 11: Les éléments influençant les choix des agriculteurs 66

INTRODUCTION

Dans un contexte de volonté de réduction du recours aux produits phytosanitaires (Plan Ecophyto), l'intérêt porté aux pratiques agricoles alternatives est grandissant. Il est attendu de ces pratiques qu'elles permettent la diminution voir le remplacement de l'usage des produits phytosanitaires tout en maintenant un niveau de production élevé, notamment via la régulation biologique. Cette dernière est un service écosystémique qui correspond à la régulation des bioagresseurs par leurs ennemis naturels. Pour cela il semble nécessaire de mettre en œuvre des pratiques agricoles favorisant ces derniers. Cependant nous sommes face à un manque de connaissances sur les processus écologiques de la régulation biologique et les pratiques la favorisant.

De même, bien que quelques études aient été réalisées concernant les pratiques favorables à la biodiversité, aucune ne prend en compte la diversité des exploitations en termes de type de production, niveau de ressources productives, objectifs généraux, cadre social et culturel etc. C'est ce paramètre primordial qui détermine pourtant la faisabilité de l'adoption de nouvelles pratiques. En effet, tout changement technique s'intègre dans un schéma général de fonctionnement de l'exploitation qui découle de la logique adoptée par l'agriculteur pour produire. (Doré, 2006; Barbier et Mouret, 2000)
Il est donc nécessaire d'identifier la diversité des exploitations, leur fonctionnement global et les logiques de décisions associées afin de pouvoir à terme intégrer davantage l'intérêt de la régulation biologique dans les décisions de gestion des agriculteurs.

C'est dans ce contexte que le réseau national de recherche SEBIOPAG[1] a été mis en place en 2013 dans le cadre du programme ECOSCOPE de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité, afin de caractériser la régulation biologique et d'en comprendre les déterminants.Ce Mémoire de Fin d'Études, effectué au sein de l'unité SAD[2] – Paysage de l'INRA de Rennes, s'inscrit dans le projet SEBIOPAG Phyto qui se déroule entre 2014 et 2016 (Cf. Figure 1 p3). Le but de ce projet est d'analyser les interactions entre activités agricoles et processus écologiques impliqués dans le contrôle des bioagresseurs, dans un contexte de réduction des produits phytosanitaires. La diversité de situations agricoles et paysagères analysées et le suivi sur plusieurs années permettent d'identifier par la suite les leviers d'action mobilisables pour intégrer l'intérêt de la régulation biologique dans le conseil aux agriculteurs.

Le projet se décline en trois tâches (Cf. Tableau 1 p2). La première tâche porte sur l'analyse des interactions entre activités agricoles et services de régulation sur des pas de temps courts et sur l'ensemble des sites du réseau SEBIOPAG, tandis que la deuxième porte sur des pas de temps longs et sur un sous – ensemble de situations contrastées. Enfin, la troisième vise à évaluer les connaissances et méthodes sur les sites SEBIOPAG pour une intégration éventuelle des résultats dans le conseil sur la gestion des bioagresseurs. Ce mémoire s'inscrit dans la tâche 1 du projet, qui implique trois sous – objectifs liés chacun à une hypothèse particulière (Cf. Tableau 1 p2).

[1] Services Ecosystémiques assurés par la BIOdiversité dans les Paysages Agricoles
[2] Science pour l'Action et le Développement

Ainsi l'étude sur laquelle porte ce mémoire engage l'analyse des relations entre trois critères : une réduction de l'utilisation de phytosanitaires, une régulation biologique renforcée et le maintien de la production.

Nous tenterons alors de caractériser au sein des exploitations du réseau SEBIOPAG les systèmes de cultures et leurs conditions de mise en œuvre, tout en identifiant quels sont ceux favorables à une régulation biologique. La première partie de ce mémoire est dédiée à une synthèse bibliographique sur les notions clés de ce sujet. A partir de cet état de l'art, nous formulons la problématique et les hypothèses qui en découlent. Une seconde partie reprend ensuite la méthodologie sur laquelle nous nous sommes basés pour réaliser cette étude. Enfin, les résultats obtenus sont présentés au cours d'une troisième partie, avant de les discuter et de conclure dans une quatrième et dernière partie.

Tableau 1: Les différentes tâches et objectifs associés du projet SEBIOPAG

Tâche	Objectifs liés à la tâche	Hypothèses de travail
❶ Analyse des **interactions entre activités agricoles et services de régulation** sur des pas **de temps courts** et sur **l'ensemble des sites** du réseau SEBIOPAG.	**1**. Déterminer la relation entre le niveau de pression phytosanitaire à la parcelle et le niveau de régulation biologique	Plus la pression phytosanitaire est importante dans la parcelle plus la régulation biologique est réduite, avec peu de variabilité associée.
	2. Analyser la contribution des pratiques et du contexte paysager à la variation du niveau de régulation biologique, et ce à différents niveaux de pression phytosanitaire.	Une pression phytosanitaire réduite dans la parcelle favorise la régulation biologique sous réserve que le contexte paysager et que le système de culture l'autorisent.
	3. Analyser les relations entre les trois critères : une réduction de l'utilisation de phytosanitaires, une régulation biologique renforcée et le maintien de la production.	Les systèmes de culture intéressants pour la régulation biologique diffèrent par: - la combinaison de pratiques en place pour remplacer les phytosanitaires - les modalités de mise en œuvre, en particulier par un recourt à plus d'observations et des interventions moins systématiques demandant plus de réactivité de l'agriculteur
❷ Analyse **des interactions entre activités agricoles et services de régulation** sur des pas de **temps longs** et sur un **sous – ensemble** de situations contrastées.	Identifier comment les services de régulations biologiques sont impactés par les transformations des paysages et des systèmes d'exploitations agricoles. Ceci s'effectue à des pas de temps pluriannuels à pluri – décennaux afin de caractériser le raisonnement des agriculteurs.	- Les trajectoires de transformations peuvent affecter les niveaux de régulation actuels. - La capacité d'adaptation des agriculteurs diminue du fait d'une recherche de simplification du travail - Diminuer les phytosanitaires suppose une transformations des objectifs de production, des indicateurs de décision et de l'organisation du travail.
❸ **Evaluation** des connaissances et méthodes pour intégrer les résultats dans le **conseil sur la gestion des bioagresseurs**.	Evaluation sur les sites SEBIOPAG pour construire des connaissances et méthodes mobilisables par la suite dans le conseil.	

Figure 1: Le projet SEBIOPAG et sa place dans une opération plus globale (source personnelle)

PARTIE I: CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

1.1. Synthèse bibliographique

Au cours de cette partie, nous effectuerons un état de l'art des concepts clés engagés dans cette étude. Ainsi nous étudierons tout d'abord le processus de régulation biologique, puis l'impact des pratiques agricoles sur ce dernier. Enfin, un état des lieux des pratiques alternatives à l'usage de produits phytosanitaires sera développé dans une troisième partie, avant de nous pencher sur l'intérêt de la prise en compte de l'échelle du système de culture et des règles de décisions des agriculteurs.

1.1.1. La régulation biologique : un service d'intérêt

1.1.1.1. Description du processus de régulation biologique

L'agriculture est liée à des services écosystémiques rendus par la nature. Les services écosystémiques sont les bénéfices que les humains retirent des écosystèmes pour assurer leur bien-être, sans avoir à agir pour les obtenir (Swinton et al., 2007). On distingue généralement quatre types des services : les services d'approvisionnement, de régulation, de support et culturels. Ces services sont permis grâce à des fonctions écologiques assurées par la biodiversité non cultivée. Par exemple, le service de régulation biologique est permis par les fonctions de prédation, parasitisme, pathogénicité, habitats et ressources pour les espèces auxiliaires.

Ces dernières, aussi appelées ennemis naturels, sont des prédateurs d'organismes nuisibles des cultures (oiseaux, insectes, araignées, guêpes…). Ces fonctions sont à la base du fonctionnement des agroécosystèmes (Altieri, 1999 cité par Puech, 2014). Ainsi prendre en compte ces services en gérant de manière optimale la biodiversité permettrait des systèmes agricoles plus durables (Tscharntke et al., 2005).

Le contrôle biologique est donc réalisé par des espèces auxiliaires. Ces dernières peuvent être soit des auxiliaires extérieures introduites dans la culture, soit des auxiliaires déjà présentes dont on favorisera les populations. Nous pouvons alors distinguer trois types de contrôle biologique (Eilenberg et al., 2001):

- Le contrôle biologique classique ou par importation: il vise à introduire une espèce exotique pour qu'elle s'établisse à long terme dans l'environnement
- Le contrôle biologique par inoculation ou inondation : il vise à introduire une espèce exotique via des lâchers successifs pour un contrôle ponctuel de ravageurs.

  Les lâchers peuvent être inoculatifs dans le cadre d'une lutte préventive, ou inondatifs dans le cadre d'une lutte curative.
- Le contrôle biologique par conservation : il vise à favoriser les espèces naturellement présentes en aménageant leur environnement

C'est ce dernier type de régulation biologique qui est concerné dans ce mémoire.

Par ailleurs, le contrôle biologique peut se faire de deux manières : soit en augmentant l'abondance de quelques auxiliaires spécifiques, soit en augmentant la diversité des auxiliaire.

La première s'effectue dans le cas de la dominance d'une espèce, présente en majorité dans la communauté de prédateur. On accroit alors l'abondance de quelques prédateurs majoritaires, déjà identifiés comme étant de bons agents de contrôle biologique. On a alors une communauté simplifiée d'ennemis naturels, mais qui serait aussi efficace qu'une communauté complexe (Bianchi et al., 2006).

La deuxième s'effectue dans le cas où il n'y a pas de dominance parmi les prédateurs mais un renouvellement élevé. Le contrôle biologique se base alors sur la théorie d'assurance (Yachi et Loreau, 1999 cité par Frémaux, 2014). Cette dernière repose sur une grande richesse spécifique des auxiliaires qui va permettre compensation et complémentarité entre espèces (Tscharntke et al., 2005). Cependant, augmenter l'abondance des ennemis naturels ne conduit pas forcément à un contrôle biologique plus efficace: redondance, cannibalisme, prédation intraguildes, manque de complémentarité…). (Bianchi et al., 2006; Lohaus et al., 2013 ; McFayden et al., 2009)

La régulation biologique est donc un service écosystémique essentiel au fonctionnement des agroécosystèmes.

1.1.1.2. L'intérêt de la régulation biologique pour l'agriculture

La régulation biologique est un service d'intérêt pour l'agriculture. En effet, les auxiliaires de cultures vont maintenir les populations de ravageurs sous un certain seuil de nuisibilité et ainsi limiter les dégâts qu'ils causent sur les cultures (Zhang et al., 2007). L'effet est durable voir permanent car les auxiliaire sont établis et se maintiennent dans l'écosystème. De plus, cette méthode de régulation respecte à la fois l'environnement et la santé humaine (Harivelo ravaomanarivo, 2014). Le service de régulation biologique est en outre particulièrement intéressant car il constitue une alternative à la lutte chimique contre les bioagresseurs (ravageurs, champignons, maladies, adventices) (DeBach and Rosen, 1991 cité par Puech, 2014). En réduisant le recours aux intrants chimique, il va ainsi permettre d'éviter des impasses de gestion comme des cas de résistance à certains produits chimiques ou de disparition de pollinisateurs, organismes essentiels à l'agriculture. (ESCo INRA, 2008 [b])

1.1.1.3. La régulation biologique: un service écosystémique menacé

Malgré les bénéfices du service de régulation biologique, ce dernier est de plus en plus menacé par la perte de biodiversité (Wilby et Thomas, 2002). En effet, une plus forte biodiversité permet un meilleur contrôle biologique des ravageurs par complémentarité entre groupes. (Schmidt et al., 2003 cité ESCo INRA, 2008 [b]). Par conséquent, le contrôle biologique est le service le plus sensible à la perte de biodiversité, à l'échelle de la parcelle (Swift, Izac, et van Noordwijk, 2004, cité par Frémaux, 2014). Il est également menacé par l'agriculture moderne et intensive (Naylor et Ehrlich, 2003), ainsi que par l'altération des écosystèmes par les activités humaines. Ainsi la biodiversité des milieux cultivés dépend de facteurs à la fois naturels et anthropiques, agissant à différentes échelles spatiales allant de la parcelle agricole au paysage (Tscharntke et al., 2012).

Des pratiques agricoles intensives et un paysage simplifié ont ainsi été démontrés comme ayant un impact négatif sur la biodiversité des auxiliaires de culture. Mais les effets de ces deux déterminants sur le niveau d'infestation des cultures par les bioagresseurs n'ont pas été établi (Chaplin et al., 2011).

Les menaces pesant sur ce service écosystémiques pourraient être réduites à condition d'en connaître les mécanismes et interactions impliquées.

1.1.1.4. Un manque de connaissance pour contrer ces menaces

La régulation biologique est donc un service d'intérêt qu'il serait bénéfique de prendre en compte par les agriculteurs. Cependant nous sommes à l'heure actuelle face à un manque de connaissance sur les déterminants de la régulation biologique. Des questions se posent, à savoir : dans quels systèmes et contexte la régulation biologique s'exprime le mieux ? Comment répond le niveau de régulation biologique à la diminution de l'utilisation de produits phytosanitaires ?

Il semble important de souligner que la majorité des études sont effectuées sur des pas de temps courts (annuel ou à l'échelle de la rotation) et se contentent d'étudier la réponse des organismes à l'échelle de la parcelle (Purtauf et al., 2005).

Or l'impact de l'activité agricole sur la biodiversité se joue à différentes échelles spatiales : de la parcelle (gestion locale) à son environnement paysager, en passant par le système de culture (Petit et al., 2013).

Il serait donc important de prendre en compte des échelles plus larges telles que le système de culture. Il a notamment été démontré que sur des pas de temps long, le contexte paysager intervient davantage dans la régulation biologique (Baudry et al., 2003). Dans son article paru dans Agricultural & Forest Entomology en 2013, Al Hassan et al. affirment notamment que l'impact de l'activité agricole doit être raisonné à la fois sur la gestion des cultures mais aussi des bordures de champs, mettant en avant l'intérêt des zones non-cultivées et donc du paysage. Il est ainsi nécessaire d'effectuer les études sur plusieurs années voir plusieurs décennies, afin d'analyser les changements de pratiques et de comprendre les règles de décisions qui guident des agriculteurs dans leurs choix face à l'introduction de pratiques innovantes dans leur système d'exploitation.

La régulation biologique est donc un service écosystémique d'intérêt pour l'agriculture et constitue une alternative efficace à un recours aux intrants chimiques. C'est ainsi un processus important à prendre en compte dans la mise en place de systèmes agricoles durables. Cependant ce service est menacé, notamment par l'agriculture conventionnelle et intensive. En effet, l'agriculture a un impact à différentes échelles sur la régulation biologique et met en place des pratiques pouvant être plus ou moins favorables à cette dernière.

1.1.2. L'impact des pratiques agricoles sur la régulation biologique

Les pratiques agricoles ont un impact avéré sur la biodiversité et par conséquent sur le contrôle biologique (ESCo INRA, 2008 [b]). Pourtant en régulant les populations de ravageurs, les bénéfices de la régulation biologique sont significatifs pour les agriculteurs.

Ainsi dans sa synthèse sur les effets de l'agriculture sur la biodiversité, l'expertise scientifique collective « Agriculture et biodiversité » de l'INRA (ESCo INRA, 2008 [a]) affirme que les pratiques agricoles ont un impact sur la biodiversité, en influant non seulement sur le milieu de vie des organismes à l'échelle de la parcelle mais aussi sur l'hétérogénéité des habitats à l'échelle du paysage.

En effet, l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité ne peut être correctement compris que si l'on dépasse l'échelle de la parcelle : prise en compte des mouvements de population entre parcelles, de la répartition des systèmes de culture, des combinaisons d'assolements, de la localisation des parcelles, des troupeaux, des clôtures, des structures paysagères telles que les haies, bordures de champs, points d'eau etc. (Baudry et Papi, 2001 ; Rickerl et Francis, 2004 cités par Doré et al., 2006).

Il faut donc comprendre l'organisation de ces pratiques à différentes échelle afin de pouvoir agir en faveur de la régulation biologique.

C'est pourquoi nous évaluerons l'effet de l'agriculture sur la biodiversité à l'échelle de la parcelle mais aussi à celle du paysage, en passant par le mode de production.

1.1.2.1. A l'échelle de la parcelle

Dans sa thèse sur les effets de l'hétérogénéité des pratiques agricoles biologiques et conventionnelles sur les communautés d'insectes auxiliaires, Camille Puech mentionne que dans les paysages bretons étudiés, c'est au niveau parcellaire que la nature des pratiques agricoles a paru avoir le plus d'importance pour les insectes auxiliaires (les haies étant démontrées comme d'importance).
En effet, les parcelles cultivées connaissent une fréquence élevée de perturbations en raison des nombreuses interventions effectuées par les agriculteurs, via le travail du sol, le contrôle des bioagresseurs, la récolte et la rotation culturale (Veres et al., 2013, cité par Frémaux, 2014).
Nous commencerons donc par évaluer les pratiques agricoles ayant une influence sur la biodiversité et notamment sur le contrôle biologique à l'échelle de la parcelle, en se basant sur la synthèse collective de l'INRA (ESCo INRA a et b, 2008).

Les intrants chimiques: produits phytosanitaires et fertilisants, un impact majeur sur la régulation biologique (ESCo INRA a et b, 2008)

De manière générale, les pesticides sont responsables d'une forte diminution de la biodiversité dans les agro – écosystèmes, du fait qu'ils ne soient pas seulement nuisibles pour les ravageurs cibles mais également pour les organismes non – cibles, dont les ennemis naturels des ravageurs. L'impact des pesticides sur les espèces non cibles peut être considérable et se poursuivre sur le long terme. Une baisse significative de l'intensité du service écologique de contrôle des ravageurs par les auxiliaires a été démontré, et ce quel que soit le système de production, grandes cultures annuelles ou cultures pérennes(ESCo INRA, 2008). Les insecticides sont particulièrement néfastes, notamment pour les arthropodes auxiliaires des cultures et sélectionnent en plus les organismes résistants à leurs molécules actives. De ce fait il a été démontré que l'utilisation d'insecticides augmentait les problèmes de bioagresseurs déjà existant, voir conduisait à l'émergence de nouveaux bioagresseurs (Krishna et al., 2003 cité par Zhang, 2007).
Ceci est d'autant plus vrai lorsque l'apport d'insecticides n'est pas raisonné. L'intensité de l'effet est notamment variable selon le moment de l'application : plus le produit est appliqué sur un stade jeune plus l'insecte, ravageur comme auxiliaire, est vulnérable et sa population susceptible de disparaître.
Ainsi de très nombreuses études démontrent les effets directs létaux et sub- létaux des insecticides sur les auxiliaires, aggravé par les effets répulsifs des fongicides (odorants) sur de très nombreux auxiliaires. Les autres pesticides ont un effet moins global, bien que non – négligeable, sur les communautés d'arthropodes, mais peuvent avoir un effet ciblé sur quelques groupes spécifiques comme les carabes prédateurs de mollusques. Les herbicides entraînent notamment une diminution des habitats naturels pour les insectes auxiliaires.

La fertilisation agit sur les organismes du sol, en modifiant d'une part leur habitat naturel (changement de l'état physico-chimique du sol) mais également leurs ressources nutritives (changement du statut nutritionnel des plantes).

Dans une certaine mesure, la fertilisation a un effet positif sur les organismes vivants. Si elle est effectuée sans dépasser les seuils de toxicité et en prenant en compte les éléments minéraux déjà disponibles dans le milieu, la fertilisation augmente l'abondance et la croissance des populations.
En revanche, ses effets sont plus mitigés sur la diversité et la richesse spécifique. En effet l'augmentation de la fertilisation a homogénéisé les milieux en faisant disparaitre les espèces adaptées aux milieux pauvres en nutriments. La fertilisation azotée est donc considérée comme un des principaux facteurs responsables de la baisse de la richesse spécifique dans les parcelles, mais aussi dans les bordures adjacentes. Ces effets sont particulièrement marqués dans le cas de fertilisation minérale, tandis que la fertilisation organique a des effets plus nuancés. Les apports organiques sont généralement favorables à l'augmentation de la densité des organismes du sol et notamment des auxiliaires. La fertilisation organique peut améliorer la structure et l'humidité du sol et ainsi les conditions d'habitat (Garratt et al., 2011). Ainsi diminuer la part de fertilisation minérale azotée au profit de l'organique augmente l'activité de certains auxiliaires (Chen et Welter, 2005; Raworth et al., 2004). Mais cela dépend de la nature du fertilisant organique (lisier, fumier, compost…).

Le travail du sol

Les techniques de travail du sol, entraînent une modification profonde du milieu (conditions trophiques et microclimatiques) car elles peuvent impacter directement les organismes, mais aussi indirectement en modifiant leur habitat ou la distribution spatiale de leurs ressources organiques et minérales (ADEME, 2007 cité par ESCo INRA, 2008).
Par conséquent, le travail du sol provoque une altération des communautés d'organismes vivant dans le sol ou à sa surface (McLaughlin and Mineau, 1995 cité par Puech, 2014 ; ESCo INRA, 2008).

Plus spécifiquement, le labour a globalement un effet négatif sur de nombreux organismes, tant en termes d'abondance que de richesse spécifique. L'effet dépend de la fréquence du labour, de sa profondeur, de la culture en place et des conditions dans lesquelles il est réalisé (favorables ou non). Ainsi des labours répétés, profonds et effectués en conditions défavorables (faible ressource organique, climat contraignant…) auront un effet négatif, particulièrement sur la macrofaune.

De même, la période d'intervention influe : ainsi un labour effectué en automne, quelle que soit la date, ne perturbera que peu les carabes, un groupe d'arthropodes auxiliaires. En revanche, un labour de printemps va entrainer une diminution de la diversité des carabes se reproduisant au printemps. Les labours de printemps sont en effet très destructeurs car ils coïncident avec le moment où les larves des carabes, passant l'hiver dans le sol, sont les plus fragiles (Holland and Reynolds, 2003, cité par Puech, 2014).

En règle générale, des pratiques plus superficielles de travail du sol type TCS[1], favorisent l'abondance et la diversité des arthropodes, tandis que des labours profonds la réduisent
(Volkmar et Kreuter, 2006 cité par ESCo INRA, 2008).

[1]Technique Culturales Simplifiées

Les rotations de cultures

Les rotations permettent de casser les cycles des ravageurs. Elles permettent donc un recours moindre à l'utilisation de pesticides qu'on sait néfaste pour la biodiversité et la fonction de régulation biologique. La diversification des cultures à l'échelle de l'exploitation entraine en outre un effet négatif sur les bioagresseurs et positif sur les ennemis naturels, avec une abondance des auxiliaires 44% et une mortalité des ravageurs 54% plus élevée (Letourneau et al., 2011). La rotation a ainsi des effets négatifs sur le développement des ravageurs (LaMondia et al., 2002) et peut au contraire avoir des effets positifs sur certains auxiliaires (Buchs et al., 1997 cité par ESCo INRA, 2008). Il parait cependant important de souligner que la diversification de la succession n'est pas toujours possible. Elle implique en effet de trouver des débouchés pour les cultures que l'on souhaite introduire, nécessitant pour certaines cultures le développement de nouvelles filières.

Nous pouvons en outre citer un contre – exemple à cet effet bénéfique de la diversification des rotations. Dans certains cas, la monoculture peut entrainer une prolifération du pathogène mais qui en parallèle peut aussi stimuler le développement de ses ennemis naturels. C'est le cas du déclin du piétin échaudage sur le blé, qui après quelques années en monoculture entraine suffisamment d'auxiliaires dans le sol pour limiter la gravité de la maladie. (Weller et al., 2002 cité par ESCo INRA, 2008)

Nous pouvons également noter que le maintien de zones non cultivés (haies, mares, bandes enherbées, jachères) est bénéfique pour la régulation biologique puisqu'elles abritent des populations d'auxiliaires des cultures qui vont pouvoir recoloniser la parcelle.

L'insertion de périodes de jachère ou de cultures pérennes dans une rotation culturale augmente tant l'abondance que la richesse spécifique des invertébrés, sans pour autant que les ravageurs soient favorisés. En effet, les jachères spontanées sont favorables aux arthropodes en offrant des ressources intéressantes, à conditions toutefois que la destruction mécanique n'intervienne pas lorsque ces ressources sont le plus attractives. Ainsi, des jachères jeunes vont être riches de nombreuses espèces d'arthropodes, puis au bout de quelques années, des espèces mieux adaptées au couvert en place et aptes à assurer un contrôle biologiques des phytophages et ravageurs des cultures, vont se développer. Ceci souligne l'importance de l'âge de l'habitat dans le développement des organismes auxiliaires (Cf. infra Figure 2).

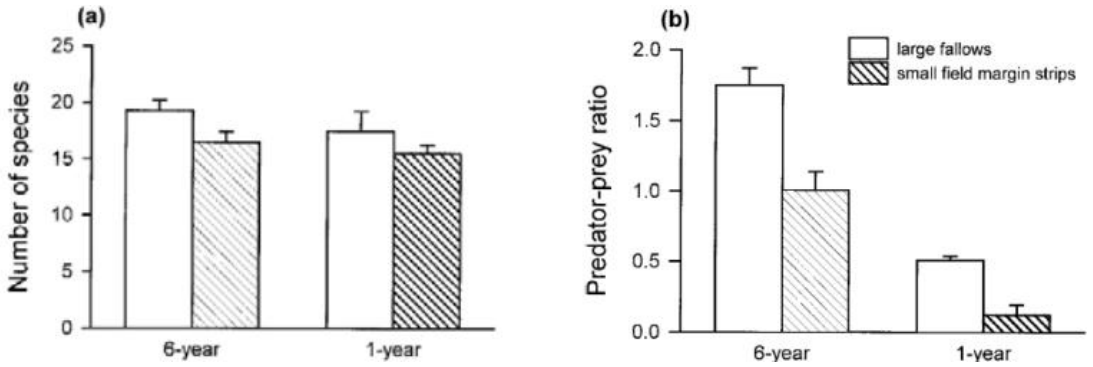


Figure 2: Comparaison de jachère de grande surface et de bordure de champ étroites d'âges différents, en termes de (a) nombre d'espèces et (b) rapport proie/prédateur chez les arthropodes se développant sur l'armoise, dans les fermes expérimentales proches de Göttingen (Allemagne). (Tiré de Denys et Tscharntke, 2002 cité par ESCo INRA, 2008 [a]).

La longueur de la rotation et l'effet précédent sont considérés comme ayant potentiellement un effet sur la régulation biologique. En effet, ces dernier conditionnent l'apport de fertilisant, de pesticides, les interventions mécaniques (labours, désherbage…) etc. et sont donc susceptible de jouer un rôle. Les couvertures végétales vives ou mortes (engrais vert en interculture ou restitution de paille) sont notamment favorables à l'abondance des organismes du sol car ils constituent une source nutritive supplémentaire et maintiennent une température et une humidité favorable.
Cependant il semble difficile de discuter d'éventuels effets du précédent cultural et de la longueur des rotations sur les insectes auxiliaires, ces facteurs étant peu étudiés et les quelques résultats existants, contradictoires (Hammond et Stinner, 1987 ; Gallo et Pekar, 2002 cité par Puech, 2014).

Le nombre de variétés des cultures

Outre le fait que l'assemblage de variété constitue une protection contre le développement des maladies, de manière générale plus le nombre de variétés semées est important plus le nombre d'auxiliaires est élevé. En effet, la diversification végétale (tant au niveau des espèces en place que de leur arrangement spatial et leur chevauchement dans le temps) permet en général d'augmenter la richesse et l'abondance des arthropodes auxiliaires des cultures. Par exemple, les coccinelles, ennemi naturel des pucerons, répondent positivement à un plus grand nombre de variétés de blé. (Puech, 2014). Dans le cas de variétés génétiquement modifiées (OGM), les effets sur la biodiversité sont sources de controverses. Cependant, dans le cas de d'OGM créés pour être résistants à un herbicide, un désherbage chimique plus complet est effectué. Or ce dernier entraine une baisse des populations, directement affectées par le pesticide, ou indirectement via la suppression de leurs ressources trophiques.

La lutte biologique: des risques pour la conservation de la biodiversité

La lutte biologique classique ou « par importation », insère des espèces exotiques dans les milieux, au détriment des populations locales. Cette lutte biologique classique est ainsi accusée de diluer la biodiversité endémique et d'homogénéiser les communautés d'espèces. Elle peut en outre avoir des effets négatifs sur des organismes non – cibles, ces effets étant irréversibles et parfois suivis de modifications profondes des écosystèmes. Il est donc nécessaire que la lutte biologique par importation soit bien maîtrisée afin d'éviter les méfaits de l'introduction involontaire d'espèces, mais correctement réalisée, elle peut en revanche corriger ces derniers. (ESCo INRA [a] et [b], 2008)

La gestion du pâturage

A forte intensité, le pâturage tend à avoir un effet négatif sur la richesse spécifique des organismes. En revanche, des prairies pâturées modérément présentent une plus grande abondance en certains organismes du sol et sont plus riches en espèces végétales. Or une augmentation de la richesse spécifique des plantes s'accompagne d'une augmentation du nombre et de la diversité de certains organismes de la faune du sol.

Faucher ses prairies plutôt que les faire pâturer augmente la richesse spécifique des plantes, et donc des organismes. Les perturbations des prairies par le pâturage ou la fauche n'ont donc que peu d'impact sur les populations auxiliaires, mais elles peuvent être un outil de pilotage de leur diversité et donc du service de contrôle biologique des ravageurs. (ESCo INRA [a] et [b], 2008)

La densité du semis comme facteur déterminant

Un semis dense va entraîner un recouvrement du sol plus important et ainsi permettre un microclimat favorable au développement des arthropodes et notamment des carabes : ombrage, humidité, température. (Langellotto et Denno, 2004 cité par Puech, 2014)

1.1.2.2. Le mode de production

L'agriculture biologique : un mode de production en faveur de la régulation biologique

De nombreuses études présentent l'AB[1] comme un mode de production favorable à la régulation biologique, dû à l'absence de traitements chimiques et à une bonne gestion des éléments semi – naturels (Puech, 2014). C'est notamment le cas de l'étude de Bengtsson et al. parue dans la revue *Journal of applied ecology* en 2005, qui montre que l'AB a un impact favorable sur l'abondance et la diversité des espèces en général (adventices, carabes, oiseaux…).

Cette étude démontre en effet que l'AB augmente la diversité des espèces de 30% par rapport à AC[2] (oiseaux, insectes et adventices, sauf les insectes non – prédateurs et les organismes du sol). Ceci a été précédemment démontré par de nombreuses autres études : sur 63 publications parues, 84% démontrent l'effet positif de l'AB sur la diversité des espèces. De même, sur 117 études réalisées, 96 démontrent l'effet favorable de l'AB sur l'abondance des espèces, soit 82%. (Bengtsson et al., 2005) En effet, les organismes étudiés sont 50% plus abondants en AB qu'en AC. Plus précisément, l'AB entraine des densités plus importantes d'insectes prédateurs tels que les carabes et araignées et n'augmente pas celle des insectes non – prédateurs et bioagresseurs. Par conséquent, l'AC aurait davantage un impact négatif sur les insectes auxiliaires que sur les autres insectes et bioagresseurs (Östman et al., 2001, 2003). En revanche, si l'AB entraine une abondance de prédateurs supérieure par rapport à l'AC, cela ne conduit pas toujours à une meilleure prédation car les ennemis naturels peuvent se nourrir de proies alternatives, plus abondantes en AB qu'en AC (Bengtsson et al., 2001 ; Garratt, et al., 2011 cités par Frémaux, 2014).

Ainsi, il a été démontré que le service de régulation biologique est plus efficace en AB qu'en AC et présente une haute valeur économique. L'AB a en effet un impact globalement positif sur la régulation biologique (Bengtsson et al., 2005) en favorisant les organismes auxiliaires (coccinelles et carabes) tant en terme d'abondance que de richesse spécifique (Krauss et al., 2011; Puech, 2014), mais également sur le taux de prédation de certains bioagresseurs (ex : pucerons) (Cullen et al., 2010).

[1] Agriculture Biologique
[2] Agriculture Conventionnelle

Il paraît cependant important de souligner que cet effet positif de l'AB est variables selon le type de bioagresseurs et de prédateurs considéré, mais également selon le contexte paysager et le type de culture en place (Rundlöf and Smith, 2006 et Fuller et al., 2005 cité par Puech, 2014).
De même, s'en remettre à ce service pour réguler les bioagresseurs présente un risque en cas de conditions climatiques défavorables (Cullen et al., 2010).

Une ségrégation agriculture biologique (AB) – agriculture conventionnelle (AC) pas si simple

La plupart du temps, lorsque l'on cherche à étudier l'impact des pratiques agricoles sur la régulation biologique, on oppose AB et AC. en effet, l'AC, souvent caractérisée par des labours profonds, l'usage de phytosanitaires et des fertilisants de synthèse, entraine le déclin de la richesse spécifique et de l'abondance de nombreux organismes (insectes, amphibiens, oiseaux…) (ESCo INRA, 2008 [b]), et conduit à une réduction drastique voire la suppression du service de régulation biologique (Cullen et al., 2010).

Cependant la plupart des articles considèrent la comparaison entre systèmes en AC et systèmes en AB, mais peu étudient les pratiques agricoles au cas par cas. Pourtant sous le système AB ou AC sont regroupés des exploitations aux pratiques diverses et variées. En effet, des exploitations en AC peuvent avoir de faibles intrants chimiques, préférer les fertilisants organiques aux minéraux, avoir une succession de cultures variée etc. Il est donc difficile de faire des généralités.

La diversité de systèmes de cultures plus ou moins intensifs en termes de pratiques agricoles regroupés sous le terme AB et AC ne permet donc pas de tirer des conclusions nettes concernant leur impact sur la régulation biologique. En effet, outre la ségrégation AB – AC, nous pouvons dire que c'est l'agriculture intensive qui a un effet négatif sur la régulation biologique. Une agriculture intensive est définie comme une agriculture utilisant davantage de facteurs de production par unité de surface. Plus une agriculture est intensive, plus la production par hectare est élevée (Commission de terminologie, 1993 cité par ESCo INRA, 2008). Les facteurs de productions considérés sont souvent la terre, le travail et le capital (intrants, matériel et bâtiments). Nous entendons donc par intensification une utilisation intensive d'intrants chimiques, une haute fréquence de perturbations liées au travail du sol, une spécialisation des exploitations, une augmentation de la taille des parcelles (au détriment des haies et bordures de champs), une forte densité du troupeau etc.
De manière plus générale, toute intensification forte des pratiques agricoles conduit à un effet négatif sur la biodiversité et ce quelque soit l'échelle considérée.

Ainsi, ce sont l'intensification de la production agricole, sa spécialisation sur un nombre réduit de cultures et la suppression des espaces "non productifs", qui sont le plus souvent considérés comme des causes principales de la perte de biodiversité dans les espaces ruraux (ESCo INRA, 2008).
Le passage d'un mode de production intensif à extensif a donc un effet positif sur la régulation biologique, mais ceci dépend aussi de la structure du paysage.

1.1.2.3. A l'échelle du paysage

Raisonner à de plus large niveaux d'organisation

Il est important de prendre en compte les pratiques non pas seulement à l'échelle de la parcelle mais aussi du paysage environnant. En effet, la réalisation de pratiques défavorables sur de trop grandes étendues réduit le service de régulation biologique, car les insectes se déplacent entre les différentes parcelles ainsi qu'entre les parcelles et les éléments non cultivés adjacents (Fahrig, 2007 cité par Puech, 2014). Ces pratiques défavorables réduisent ainsi leur possibilité de se réfugier en cas de perturbation et de compléter leur cycle de vie.

Cet effet négatif peut être augmenté par les phénomènes de « débordements », en particulier dus à la dispersion aérienne des pesticides pulvérisés (Wittich and Siebers, 2002, cité par Puech, 2014).

Par exemple, un paysage ayant une importante surface de cultures de printemps labourées et traitées avec des insecticides et fongicides entraîne une faible richesse spécifique en carabes. (Puech, 2014)

A l'inverse des pratiques favorables appliquées à de grandes étendues améliorent la qualité des habitats potentiels pour les auxiliaires. Il est donc important de raisonner les pratiques non pas seulement à l'échelle de la parcelle mais à de plus larges niveaux d'organisation.

Une hétérogénéité du paysage renforçant la régulation biologique

De manière générale, plus le paysage est hétérogène, plus la biodiversité est favorisée.

Ainsi une simplification du paysage va entrainer le déclin de nombreuses espèces du fait de la perte de ressources trophiques spécifiques. Ce déclin altère alors significativement le rôle des insectes auxiliaires tels que les carabes (Purtauf et al., 2005). Par ailleurs, la composition du paysage est aussi importante que sa configuration spatiale, si ce n'est plus. Ainsi, la gestion et la conservation de zones non – agricoles et de leur connectivité, comme les bordures de champs, des couverts prairiaux ou encore des espaces bocagés, constituent des habitats pour la faune et a un effet globalement positif sur la biodiversité. Par conséquent, l'hétérogénéité du paysage favorise les insectes auxiliaires et limite généralement les insectes ravageurs, renforçant ainsi le service de régulation écologique. (ESCo INRA, 2008) Cependant, même si un paysage complexe augmente la diversité et l'abondance des auxiliaires, la régulation biologique n'en est pas forcément toujours améliorée. Ceci est vrai dans certains cas, mais les bioagresseurs peuvent également répondre positivement à un paysage complexe (Thies et al., 2005). L'hétérogénéité du paysage a donc une grande importance (Dauber et al. 2003 cité par Bengtsson et al., 2005). Des études démontrent même que ce dernier paramètre influe davantage que le type de système agricole (Weibull et al., 2003).

L'hétérogénéité du paysage lié au mode de production

L'intensification du mode de production est souvent liée à une homogénéisation du paysage.

Or une agriculture intensive et un paysage homogène favorise les insectes ravageurs, tandis qu'une agriculture peu intensive et des paysages complexes favorisent les insectes auxiliaires.

Des pratiques agricoles intensives et un paysage simplifié ont ainsi été démontrés comme ayant un impact négatif sur la biodiversité des auxiliaires de culture. Cependant les effets de ces deux déterminants sur le niveau d'infestation des cultures par les bioagresseurs n'ont pas été établi (Chaplin et al., 2011). Nous pouvons cependant nous retrouver dans le cas d'agriculture intensive et de paysages complexe, ou à l'inverse d'agriculture extensive et de paysage simplifié. Dans ce cas, la structure du paysage masque l'effet du mode de production. En effet, dans un contexte paysager simple et homogène, l'effet positif sur la biodiversité d'un mode de production extensif est avéré. Mais dans le cas de paysages hétérogènes, le type de système agricole influe peu (Tscharntke et al., 2005 et Rundlöf and Smith, 2006 cité par Puech, 2014). (Cf. infra Figure 3)

Cependant d'autres études démontrent que l'AB améliore la régulation biologique seulement dans le cas de paysages hétérogènes (Aavik et al., 2011). Comprendre la régulation biologique implique donc de prendre en compte à la fois le paysage et les pratiques agricoles.

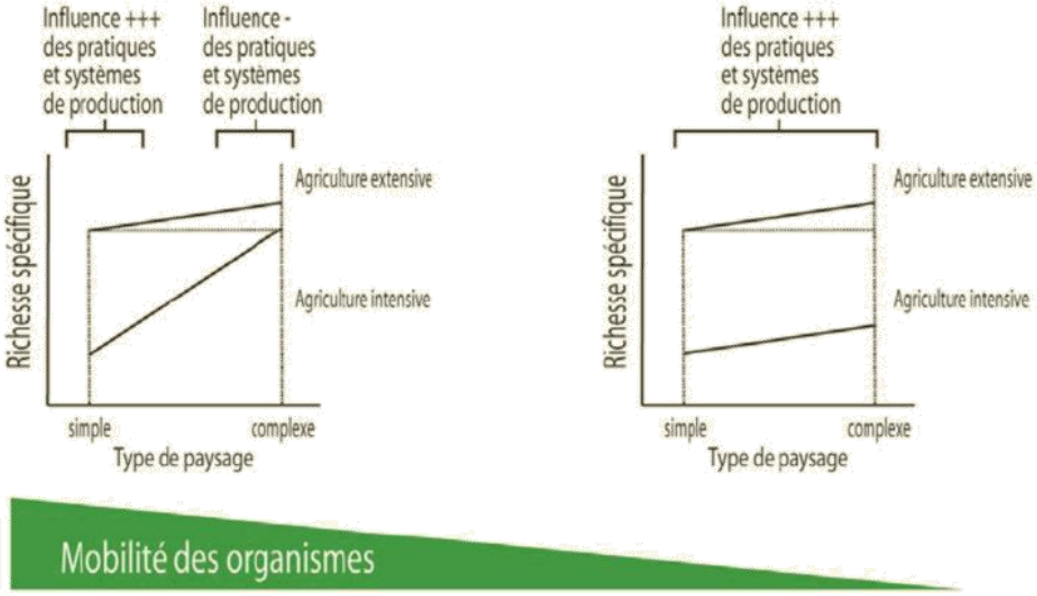


Figure 3: Modèle explicatif général des interactions agriculture – biodiversité (Source : ESCo Agriculture et biodiversité 2008, tiré de PAIN, 2014)

Ainsi parmi cette diversité de pratiques, quelque soit l'échelle à laquelle elle est raisonnée, certaines ont un impact plus ou moins important sur la régulation biologique. Par conséquent, l'optimisation de certaines pratiques clés telles que la fertilisation, l'apport de pesticides ou la fréquence du travail du sol pourrait suffire à une régulation biologique efficace quel que soit le mode de production (Puech, 2014). Avec l'artificialisation des systèmes agricoles, les phénomènes de régulation naturelle ont de moins en moins été pris en compte (régulation des populations, résilience du milieu…). Mais les systèmes à faibles niveaux d'intrants y prêtent plus d'attention (Robson et al., 2002 et Cochet, 2001 cité par Doré, 2006). Ainsi, les systèmes agricoles s'intéressant à la régulation biologique sont souvent ceux désireux de diminuer leur recours aux produits chimiques (Doré, 2006). En effet la régulation biologique constitue une alternative efficace à ces derniers. Cependant, pallier durablement à l'absence de ces derniers implique la mise en place au sein du système agricole non pas d'une seule mais d'une combinaison de pratiques alternatives. Nous pouvons alors nous demander si les pratiques alternatives à l'utilisation de produits phytosanitaires sont également favorables à la régulation biologique.

1.1.3. Les pratiques alternatives à l'usage des produits phytosanitaires

A partir du *Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires* réalisé par le MAAPRAT[1] (Aubertot et al., 2011), nous avons pu identifier un certains nombre de pratiques alternatives à l'usage de produits phytosanitaires.

1.1.3.1. Le raisonnement des rotations culturale : un levier d'importance

Allongement et diversification des rotations

Allonger les délais de retour d'une même culture sur une même parcelle va permettre une alternance entre plantes hôtes et non hôtes des maladies et ravageurs. Ainsi la reproduction des organismes spécifiques inféodés à la parcelle est limitée (Delos et al., 2004).

L'allongement de la rotation constitue notamment le seul moyen de contrôle efficace pour la chrysomèle du maïs, dont la nuisibilité diminue fortement en dehors des monocultures (Bajwa et Kogan, 2004 cité par Aubertot et al., 2011).

Par ailleurs, intégrer plus de cultures à la rotation permet de diversifier les dates d'implantation des cultures (automne/printemps/été) et leur mode d'implantation (et donc le travail du sol associé) et ainsi éviter la spécialisation des flores adventices des parcelles (Davis et Liebman et Davis, 2000 cité par Aubertot et al., 2011). La rotation culturale apparaît comme la méthode préventive la plus efficace et durable pour lutter conte les adventices en cultures biologiques (FREDON Auvergne, 2007).

Il est également bénéfique d'intégrer dans la rotation des cultures étouffantes comme la luzerne, ou des prairies temporaires fauchées. Cela permet d'interrompre le cycle des adventices avant grenaison, et d'étouffer les jeunes plantules par une reprise rapide de la végétation après la fauche, à condition toutefois d'avoir une implantation réussie du couvert (Davies et al., 1997 cité par Aubertot, 2011). Combiné à une forte densité de semis et un écartement réduit, l'efficacité en est augmentée.

Une diversité de cultures possibles pour lutter contre les bioagresseurs

Les cultures multi-espèces permettent une meilleure compétitivité contre les bioagresseurs.

En effet, l'association d'espèces au sein d'une même parcelle peut diluer la quantité d'agents pathogènes présents et constituer une barrière physique à la propagation des maladies et des ravageurs. Cela a été démontré en autre pour les maladies foliaires du blé (Vilich-Meller, 1992). Pour les ravageurs, l'association agit notamment en empêchant la reconnaissance visuelle de la culture par les ravageurs et en favorisant les populations d'ennemis naturels des cultures.

De même, les cultures intercalaires et les semis sous couvert permettent de couvrir l'inter-rang et de concurrencer par conséquent les adventices (Douville, 1996 cité par Aubertot et al., 2011).

[1] Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire

Par exemple, intercaler un couvert de légumineuses au sein d'une culture de céréales va permettre une compétition vis-à-vis des adventices pour la lumière et l'azote. En effet, la densité globale du couvert est plus élevée et l'architecture complémentaire des espèces cultivées permet une fermeture plus rapide du couvert, concurrençant donc les adventices pour la lumière. (Bulson et al., 1997 cité par Aubertot et al., 2011). De même les légumineuses permettent une meilleure efficience de l'utilisation de l'azote, ce qui en limite la quantité disponible pour les adventices.

Il est par ailleurs possible de mettre en place des cultures pièges, également appelées zones attractives ou stratégie "push-pull". Cette technique consiste à aménager des zones qui repoussent et des zones qui piègent les ravageurs de manière judicieuse par rapport à la localisation des cultures.
L'aménagement de cultures pièges autour de la parcelle permet également de réduire les populations de ravageurs dans la parcelle en les attirant ailleurs.

La biofumigation est une pratique qui consiste à cultiver en interculture, puis broyer et enfouir à un stade donné, certaines espèces végétales choisies pour leur potentiel toxique pour les bioagresseurs telluriques. Il s'agit ici surtout de crucifères (moutarde, radis), riches en glucosinolates.
Lors de leur décomposition, ces molécules se transforment en molécules volatiles et toxiques pour certains organismes du sol (Ahmed et al., 2007 cité par Aubertot et al., 2011).
Des effets de la mise en place de moutarde brune en interculture sur le Rhizoctone Brun ont ainsi été démontrés (Motisi, 2009 cité par Aubertot et al., 2011).

Les cultures intermédiaires

Les cultures intermédiaires vont permettre de couvrir le sol pendant l'interculture, et ainsi d'étouffer les adventices et réduire le stock de graines et d'inoculum dans le sol.
(ESCo INRA - Cemagref, 2005)

Des variétés à sélectionner : mélange variétal et résistance

Associer les variétés permet d'augmenter la compétitivité de la culture et ainsi d'éviter les conditions favorables au développement et la propagation des bioagresseurs.
Par ailleurs, l'association de variétés limite la propagation de maladies de plante à plante par l'utilisation de résistances complémentaires et réduit donc les dégâts. Ainsi, chez la pomme de terre, la sévérité du mildiou peut être diminuée par rapport à une culture monovariétale en alternant des variétés sensibles et des variétés résistantes sur les rangs (Pilet, 2003 cité par Aubertot et al., 2011).

Par ailleurs, il est bénéfique de choisir des variétés résistantes, tolérantes, concurrentielles avec certains adventices/ravageurs/pathogènes. En effet, le choix de variétés résistantes permet de réduire les dégâts pour les maladies foliaires/ravageurs. Le choix de variétés tolérantes permet quant à elles de réduire les dommages de récolte causés à même niveau de dégâts. De plus, les caractéristiques de la plante cultivée telles que la vitesse de levée, la vigueur de la croissance initiale, la vitesse et la précocité de montaison, le port étalé des feuilles et la hauteur, influent sur la compétitivité des cultures et donc sur le contrôle des adventices (Eisele, 1997 cité par Aubertot et al., 2011).

Cependant, peu de sélection variétale est effectuée, mis à part sur quelques espèces à fort enjeu économique tels que le blé et le maïs.
Il est également important de mentionner que l'utilisation à large échelle des mêmes types de résistance pose cependant la question de l'érosion de ces résistances (Delos, 2009 cité par Aubertot et al., 2011).

1.1.3.2. Travail du sol et gestion des résidus de culture (déchaumage, broyage)

Un travail du sol permet d'enfouir les semences d'adventices et de réduire les populations de ravageurs qui se maintiennent dans le sol en détruisant les larves.
Il entraîne un changement des conditions du milieu : baisse de l'humidité, de la teneur en MO, de la température, du pH. Ces changements participent à ralentir le développement des maladies et microorganismes du sol.
Les effets du travail du sol dépendent cependant du contexte pédoclimatique et des caractéristiques de la flore. Ce levier est efficace surtout pour cultures d'automne (céréales,…) et d'été (maïs,…).
Il est moins évident à gérer pour des semis en début de printemps.
Dans tous les cas, implanter une culture dans une parcelle « propre » est recommandé pour limiter les dommages de récolte dus à la concurrence des adventices.

Le labour

Le labour permet un enfouissement profond des graines, c'est donc une technique efficace pour lutter contre les adventices. Pour des espèces aux semences fragiles (bromes, vulpin, ray-grass, gaillet), un enfouissement en profondeur de plus d'un an permet de réduire leur viabilité (Chauvel et al., 2001)(Chauvel et al., 2001). En revanche pour des espèces aux semences persistantes, l'enfouissement va seulement entraîner la mise en dormance des graines. Ces dernières peuvent alors refaire surface lors du labour suivant. C'est pourquoi il est bénéfique d'alterner travail du sol profond et superficiel pour une gestion efficace de ce type d'adventices. Par exemple, les dernières interventions avant le semis doivent être aussi
superficielles que possible pour éviter de remonter de nouvelles semences des couches profondes.(Aubertot, 2011)

Le travail du sol superficiel

Dans les techniques de travail superficielles, nous allons retrouver notamment le déchaumage. Le déchaumage précoce pendant l'interculture va permettre de détruire de manière physique les adventices, et réduire les populations de certains bioagresseurs du sol (taupins, limaces…).

Le faux – semis va quant à lui permettre de stimuler la levée des adventices pendant l'interculture afin de réduire les infestations dans les cultures suivante.

Cependant, cette technique n'est efficace que pour des espèces à faible dormance et germant sur les premiers centimètres du sol (bromes, vulpin, Ray-grass). A noter qu'un seul faux-semis est rarement suffisant pour réduire de manière satisfaisante le stock semencier (Delos, 2009 cité par Aubertot, 2011). Les dernières interventions avant le semis doivent être aussi superficielles que possible pour éviter de remonter de nouvelles semences des couches profondes.

Des espèces vivaces à rhizomes superficiels, comme le chiendent, peuvent elles être gérées par des passages d'outils à dents qui extirpent les rhizomes et les laissent sécher en surface, en conditions estivales suffisamment sèches (éviter les outils à disques qui fragmentent les rhizomes et multiplient ainsi les adventices).(Aubertot, 2011)

Désherbage mécanique : herse – étrille, houe rotative, binage

Le désherbage mécanique permet de détruire les plantes adventices à des stades où elles sont peu développées.

Un premier rôle est de détruire les levées précoces d'adventices, (le nombre de plantes cultivées détruites par cette intervention reste très faible) (ESCo INRA - Cemagref, 2005).

Un second est la destruction des adventices en cours de germination ou de levée.

Il peut s'exercer en plein en utilisant une herse étrille, une bineuse à doigts souples ou une houe rotative. Il s'exerce également entre les rangs avec une bineuse à socs, à dents ou à étoiles. Pour les cultures robustes ou semées profond, un passage de herse étrille de post-semis en pré-levée de la culture permet de détruire des plantules adventices très jeunes, parfois même avant leur levée, ce qui contribue à limiter le potentiel d'infestation.

Pour les espèces vivaces à rhizomes profonds (chardons), les binages répétés en culture, qui tendent à épuiser les réserves souterraines, les passages de dents « patte d'oie », très superficielles, en inter-culture peuvent se montrer efficaces. (Aubertot, 2011)

Le broyage des résidus de culture

Le broyage et l'enfouissement des résidus de culture potentiellement contaminés permet de limiter la propagation aérienne de l'inoculum et d'accélérer la décomposition des résidus, tout en limitant les substrats disponibles pour les champignons saprotrophes.

Cet enfouissement est à raisonner selon la durée de survie de l'inoculum et de la rotation, car le labour peut remonter en surface les résidus infectés dans une culture hôte.

Il permet aussi de réduire les populations de ravageurs qui se maintiennent dans les résidus de cultures (Delos et al., 2004).

Par ailleurs, le matériel utilisé peut-être une source de contamination entre parcelles. Il est donc nécessaire de faire également attention à ce point.

1.1.3.3. Un semis plus dense et décalé dans le temps

Décaler la date de semis

Le décalage des dates de semis (semis précoces ou tardifs selon les cultures) évite la concordance entre la période de sensibilité de la culture et la phase de contamination par le bioagresseur.

Concernant les adventices, cela permet ainsi d'éviter une exposition de la culture à une période où elle est sensible à la concurrence des adventices. En semant plus tard, la flore adventices d'automne aura déjà commencé à germer, et aura pu être détruite par un travail du sol préalable.

Pour certaines cultures comme le colza, la date de semis conventionnelle est antérieure à la période de levée préférentielle des adventices.

Dans ce cas, semer plus tôt permettra à la culture d'être plus forte lorsque les adventices lèveront et sa compétitivité sera donc renforcée. Elle résistera de même mieux aux dégâts causés par les maladies.

De même pour les maladies et ravageurs, plus la croissance des plantes est longue, plus les organismes nuisibles sont susceptibles d'attaquer la culture car ils ont le temps de se développer. Ainsi, les dates de semis précoces pour les céréales d'hiver favorisent le développement de maladies en permettant un plus grand nombre de cycles du pathogène et augmentent les risques d'attaques des insectes à l'automne. Des semis plus tardifs permettent de limiter ce phénomène pour diverses maladies du blé (septoriose, rouilles, piétins et ravageurs) (Delos et al., 2004). Cependant la météo ne permet pas toujours de semer très tard. A noter que l''adoption de semis tardif est à accompagner d'un choix de variétés à cycle plus court pour maintenir un bon niveau de production.

Des semis plus denses

L'augmentation des densités de semis et la réduction de l'écartement entre les rangs peuvent permettre de réduire la croissance des adventices et leur production de semences en les étouffant (Andersson, 1986 cité par Aubertot et al., 2011). En effet, en augmentant de 10 à 15% la densité de semis par rapport à la densité conventionnelle la culture exerce une forte couverture du sol et concurrence les adventices (Delos et al., 2006).

Concernant les ravageurs, une forte densité de semis peut limiter les dommages de récolte en diminuant les dégâts par plante (effet dilution). Cela a été vérifié pour les dégâts de pucerons sur orge (Altieri, 1999 cité par Aubertot et al., 2011).

Cependant un semis dense entraîne également plus de risque de propagation des maladies, puisque le passage de plante à plante est facilité pour les pathogènes. De plus, un semis dense peut instaurer des conditions favorables à leur développement (baisse de l'intensité lumineuse, humidité plus importante). Une réduction de la densité de semis du tournesol peut ainsi permettre de réduire les dégâts causés par le phomopsis (Delos et al., 2004). A noter également qu'un semis dense est favorable à la verse pour certaines cultures. Une attention particulière doit également être portée à la qualité sanitaire des semences, pour que celles-ci ne soient pas sources de contamination.

1.1.3.4. Fertilisation azotée et irrigation : des apports à raisonner selon les besoins

La fertilisation azotée organique comme alternative

La fertilisation azotée organique est un bon moyen de diminuer ses intrants chimiques. Cependant, tout comme la fertilisation azotée minérale, elle est à raisonner selon la nitrophilie de la culture. Une fertilisation azotée précoce sur une culture peu nitrophile comme le blé va avantager les adventices. De même, une teneur en azote élevée dans les plantes peut augmenter la sensibilité de la culture aux maladies (Delos, 2009 cité par Aubertot et al., 2011). Un ajustement strict de la fertilisation azotée aux besoins de la culture pour la production limite également par la suite les surfaces susceptibles d'être attractives pour les ravageurs (Pali, 1981 cité par Aubertot et al., 2011).

1.1.3.5. Un raisonnement à différentes échelles : de la parcelle au paysage

Taille de la parcelle

Une taille des parcelles raisonnable peut permettre une meilleure gestion des populations de bioagresseurs. Une bonne limite serait la surface maximale que l'on peut semer en 8 ou 10 heures de travail. Des parcelles de 5 à 15 ha sont ainsi obtenues en fonction du contexte. On peut également raisonner la taille des parcelles selon des limites « naturelles», en se fixant pour objectif d'avoir des sols homogènes dans chaque parcelle. Cela permet en plus de gérer au mieux l'apport d'intrants (eau, azote) sur chaque parcelle. (ESCo INRA [b], 2008)

L'organisation paysagère autour des parcelles

Une gestion optimale de l'organisation paysagère autour de la parcelle peut limiter les contaminations venant des parcelles voisines pour les maladies mobiles. Il s'agit par exemple d'éviter d'avoir des cultures hôtes des mêmes maladies dans des parcelles proches. De plus, ces aménagements augmentent l'hétérogénéité du paysage, ralentissant ainsi la dissémination des maladies par le vent et les ravageurs. (ESCo INRA - Cemagref, 2005)

Positionnement des cultures au sein du territoire

Le positionnement des cultures au niveau géographique est également important : éviter de juxtaposer les cultures hôtes du même pathogène permet de limiter les contaminations entre parcelles. La propagation de nombreuses maladies et de parasites peut être ralentie par une répartition adéquate des cultures dans l'espace. La constitution de « mosaïques » de cultures au niveau du territoire peut donc permettre de ralentir la progression des ravageurs. Cela peut jouer un rôle important dans la limitation des contournements de résistances en créant des mosaïques de cultures avec des variétés développant des modes de résistance différents.(ESCo INRA - Cemagref, 2005)

Il existe plusieurs pratiques agricoles qui constituent une alternative à l'utilisation de produits phytosanitaires. Certaines sont plus efficaces que d'autres selon les bioagresseurs visés (Cf. tableau1, annexe 1) mais c'est surtout la combinaison de différentes pratiques qui constitue le mode d'action le plus efficace contre les bioagresseurs. Nous avons en outre pu constater que certaines pratiques alternatives aux produits phytosanitaires ne sont pas toujours favorables à la régulation biologique (Cf. infra Tableau 2). Cependant pour la majorité d'entre elles, régulation biologique efficace et faible recours aux intrants chimiques sont compatibles. Toutefois, trouver la combinaison de pratiques adéquate pour une situation donnée dépend évidemment des objectifs que l'agriculteur se fixe et des compromis à faire selon les contraintes propres liées à l'exploitation. Ces pratiques ne concernent donc pas seulement la parcelle, mais se raisonnent à des échelles plus larges telles que le système de culture.

Tableau 2: Corrélation entre pratiques agricoles alternatives à l'usage de produits phytosanitaire et favorables à la régulation biologiques (source personnelle)

Pratiques agricoles	**Régulation Biologique**	**Recours minimum aux produits phytosanitaire**
Rotation longue et diversifiée	Favorable	Favorable
Fertilisation organique	Favorable	Favorable
Association d'espèces et de variétés	Favorable	Favorable
Semis dense	Favorable	Favorable
Cultures intermédiaires, couvert, jachères…	Favorable	Favorable
Gestion de l'organisation paysagère : hétérogénéité, zones non cultivées, mosaïque de cultures…	Favorable	Favorable
Cultures pièges/Zones attractives	Favorable	Favorable
Taille de parcelle moyenne	Favorable	Favorable
Pâturage modéré	Favorable	/
Nombre élevé de variétés différentes par culture	Favorable	/
Décalage date de semis	/	Favorable
Broyage et enfouissement des résidus de culture	/	Favorable
Biofumigation	/	Favorable
Contrôle génétique, sélection variétale	/	Favorable
Qualité sanitaire des semences	/	Favorable
Lutte biologique classique	Défavorable	Favorable
Travail du sol	Défavorable	Favorable
Enfouissement des résidus de culture	Défavorable	Favorable

1.1.4. La prise en compte de l'échelle du système de culture, de sa complexité et des règles de décisions

Favoriser la régulation biologique et diminuer les intrants chimiques passe généralement par la mise en place de nouvelles pratiques par les agriculteurs. Dans les études réalisées, que disent les agronomes sur la mise en place de nouvelles pratiques? En quoi est -ce complexe? A quelle échelle raisonner? Ce changement de pratiques se raisonne à l'échelle de l'exploitation et implique des systèmes plus ou moins simples à mettre en place selon les conditions, notamment les ressources productives disponibles. Plusieurs références indiquent l'importance de raisonner à différents niveaux d'organisation afin d'évaluer les pratiques agricoles au sein d'une exploitation. Dans son livre *L'agronomie aujourd'hui* (Doré, 2006) Thierry Doré présente notamment plusieurs manières d'appréhender l'agronomie : via un élément intégré au champ cultivé (sol, peuplement végétal…), via les pratiques culturales, le champ cultivé dans sa globalité et les logiques d'actions qui le gouvernent ou encore via l'exploitation agricole.

1.1.4.1. La cohérence agronomique des systèmes de cultures : évaluer les effets d'une pratique culturale à différentes échelles d'espace et de temps

Changer de pratique implique de la remplacer par une autre, mobilisant des connaissances, de la réflexion et en prenant en compte l'ensemble du système de culture.

Dépasser l'échelle de la parcelle : pourquoi considérer l'ensemble du système de culture

Il convient avant tout de définir la notion de système de culture. Un système de culture est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles cultivées de manière identique[1]. Chaque système de culture se caractérise donc par une rotation culturale et un itinéraire technique, appliqué à un ensemble de parcelles. Par ailleurs, les effets engendrés par une pratique culturale sont complexes et incertains: l'application d'une technique peut engendrer des effets différents selon les situations (conditions d'application, était initial du système…). Ainsi une même pratique a des conséquences, prévues ou non, non pas sur une mais sur plusieurs composantes du milieu. De même, plusieurs pratiques peuvent être à l'origine d'un même effet. Il est donc nécessaire de bien connaître le fonctionnement de son champ cultivé et d'en évaluer l'état initial avant d'agir sur ce dernier, afin d'adapter au mieux les innovations. Il est ainsi important de considérer l'ensemble des pratiques culturales appliquées, et non pas une seule. Considérer l'ensemble de son système pour raisonner une technique de culture est donc primordial, car le changement d'une technique va influer sur le fonctionnement de toute l'exploitation (organisation du travail, résultats économique, état environnemental…).

[1] Définition donnée par Michel Sebillotte dans Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. Les systèmes de culture. 1990,Inra, Versailles, pp. 165-196.

C’est cette appréhension préalable de son système qui va permettre à l’agriculteur de construire ses règles de décisions et logiques d’action. Raisonner à des niveaux d'organisation plus larges que la parcelle va permettre d'appréhender l'importance et la diversité des décisions et choix des agriculteurs via l'analyse de leurs pratiques (Landais et al., 1988).

La prise en compte de différents pas de temps

L’intérêt d’une technique doit être étudié à différents pas de temps : la campagne culturale et les années suivantes. Dans les études sont de plus en plus pris en compte des pas de temps longs (supérieur à l’année culturale ou la rotation) et des échelles d’espace plus larges que celle de la parcelle agricole. Elles permettent d’évaluer les effets à long termes d’une pratique ou l’effet des systèmes de culture sur les composantes biologiques du milieu (Berkelmans et al., 2003 cité par Doré, 2006).

Ainsi, l’agriculteur ne raisonne pas à la simple échelle de la parcelle mais intègre des échelles de temps et d’espace plus larges afin de gérer efficacement les ressources productives de l’exploitation.

1.1.4.2. La complexité de mise en place de nouvelles pratiques: l'enjeu des ressources productives

La prise en compte règle de décision et logiques d’action

Il n’y a pas un bon itinéraire technique universel. Une même culture peut être conduite différemment selon les objectifs de l’agriculteur qui régissent ses logiques d’action. De même, plusieurs manières sont possibles pour atteindre un même objectif.

En effet, il n'existe pas une gestion optimale d'un système, l'important et l'atteinte des objectifs visés, ces derniers étant très variables d'un agriculteur à l'autre (Landais et al., 1988, Barbier et Mouret 2000). Tout changement est à l'origine d'un processus décisionnel au cours duquel l'agriculteur adopte la nouvelle technique, puis la met en pratique et l'adapte progressivement à ses objectifs et aux conditions propres de l'exploitation (Landais et al., 1988).

Il est donc nécessaire pour les agronomes d’évaluer les logiques d’actions des agriculteurs en plus de leurs pratiques afin de prendre en compte la diversité des situations.

Les niveaux de décisions considérés pas l’agriculteur (Aubry et Michel-Dounias, 2006)

L’agriculteur prend des décisions à différents niveaux et pas de temps.

On distingue ainsi les décisions :

- D’orientation stratégique de l’exploitation.

Ces décisions concernent le choix des cultures, de la structure (main d’œuvre, équipement…), de la place de l’activité agricole dans le revenu et la vie de famille etc. Elles se raisonnent sur un pas de temps long (plusieurs années).

- D’organisation des processus productifs.

Elles concernent la constitution des systèmes de culture et se raisonnent ainsi sur des pas de temps annuel ou pluriannuel (rotation).

- De mise en œuvre des processus productif.

Ces décisions concernent des pas de temps infra – annuel (journée ou quelques jours).

Le premier type de décisions relève de choix stratégiques, qui ne sont pas remis en cause régulièrement par l’agriculteur et concerne des pas de temps longs, donc incertains.

Les deux derniers types de décisions relèvent en revanche de choix techniques. Ils concernent directement la mise en œuvre des systèmes de cultures.

C’est sur ce dernier type de décisions que nous nous intéresserons au cours de cette étude.

Dans leur analyse des décisions techniques, les agronomes s'appuient sur d'autres sciences telles que les sciences sociales, notamment via les notions d’ergonomie cognitive et de sciences de gestion (Doré, 2006). L’ergonomie cognitive représente les savoirs mobilisés par l’agriculteur et les indicateurs qu’il utilise. Cela nous permet de comprendre les étapes de la prise de décision technique de l’agriculteur. Les sciences de gestion impliquent quant à elles la recherche d’une organisation efficace du système de culture par l’agriculteur.

Les décisions techniques sont récurrentes et cycliques. Elles relèvent d’abord de la prédéfinition d’un plan d’action puis de la conduite de ce plan d’action en temps réel (adaptations possibles *in situ*).

Les règles de décisions techniques combinent à la fois :

- Les règles de conception des systèmes

Elles impliquent la prise en compte des relations entre les niveaux de décision et le processus productif. Il y a en effet nécessité de répartir les ressources disponibles entre les parcelles et les cultures (équipements, main d’œuvre, foncier…). Ceci constitue le lien majeur d’interdépendance entre les systèmes de cultures de l’exploitation (Papy, 2001, cité par Doré, 2006).

- Les règles d’ordonnancement des actions à mener : enchaînement logique des actions.

Une difficulté est en revanche de traduire à l’échelle de la parcelle des contraintes relevant de niveaux plus large dans l’exploitation.

Il est également important de souligner que les dimensions sociales et culturelles influent sur les choix des agriculteurs : groupes auxquels il appartient etc.

Ainsi, un système nécessitant de la réflexion, la mobilisation de connaissance et disposant de ressources productives limitées, est considéré comme complexe à mettre en place.

Prendre en compte la complexité de la prise de décision des agriculteurs implique notamment de considérer le système de culture comme un jeu de règles de décisions et non pas comme une suite fixe d’opération culturales prédéterminées.

Les exploitations agricoles sont des entités complexes et aussi diverses qu'il y a d'agriculteur à leur tête. C'est pourquoi l'analyse de leur fonctionnement via la caractérisation des pratiques agricoles doit permettre d'appréhender non seulement leur diversité mais également leur complexité (Landais et al., 1988). La notion de complexité est ici définie par la question de la charge de travail et de l'accès aux ressources productive. Du point de vu de la stratégie décisionnelle, la complexité se réfère aux connaissances mobilisée et à la question majeure de l'organisation de l'agriculteur : est – ce que tout est organisé à l'avance, est – ce que les prévisions sont adaptées en fonctions des conditions réelles par la suite, est – ce que les interventions sont déclenchées uniquement à partir d'observations effectuées en temps et en heure… ?

Ainsi, pour pouvoir être adoptées par les agriculteurs, les pratiques doivent non seulement être techniquement maîtrisées, mais également être compatibles avec le fonctionnement de l'exploitation. Ce fonctionnement découle de la logique de production de l'agriculteur, qui repose sur leurs objectifs propres selon les contraintes et atouts dont ils disposent : l'histoire de l'exploitation, la main d'œuvre disponible (familiale et salariée), l'équipement et les bâtiments, le milieu exploité (taille de l'exploitation, structure du parcellaire, nature des sols, climat…).(ESCo INRA, 2008 [b])

Afin d'intégrer ces pratiques favorables à la régulation biologique au sein des systèmes de cultures, il est donc important avant tout de bien caractériser la diversité de ces derniers.

1.2. Problématique & hypothèses:

Au vu de la bibliographie et du contexte actuel de diminution des intrants, il paraît important d'intégrer des pratiques favorables à la régulation biologique dans les systèmes agricoles.

Cependant, tout changement technique s'intègre dans un schéma général de fonctionnement de l'exploitation qui découle de la logique adoptée par l'agriculteur pour produire.

Il est donc nécessaire d'identifier la diversité des exploitations, leur fonctionnement global et les logiques de décisions associées afin de pouvoir à terme intégrer davantage l'intérêt de la régulation biologique dans les décisions de gestion des agriculteurs.

La problématique du stage est donc de caractériser les systèmes de culture favorables à la régulation biologique et d'évaluer leur complexité de mise en œuvre.

A partir de la bibliographie, nous considérons comme complexe un système mobilisant du temps, de la réflexion, des connaissances, avec des ressources productives limitées. Nous nous attacherons également à comprendre les raisons qui explique la mise en place ou non de ses pratiques favorables à la régulation biologique.

Nous pouvons formuler deux hypothèses concernent les systèmes de culture favorables à la régulation biologique:

- Ce sont des systèmes qui ont tendance à remplacer l'usage des produits phytosanitaires via une combinaison de pratiques à diverses échelles de temps et d'espace. Parmi celles - ci, nous pouvons citer différents exemples:
  - la parcelle: fertilisation organique, désherbage mécanique, mélange variétal
  - un groupe de parcelles: rotation longue et diversifiée, cultures intermédiaires
  - l'exploitation agricole: davantage des exploitations en AB

Ils sont basés sur plus d'observations et moins d'interventions systématiques, nécessitant plus de réactivité de la part de l'agriculteur.

PARTIE II: METHODOLOGIE

2.1. En amont : la mobilisation des données

2.1.1. La collecte de données via des entretiens auprès d'agriculteurs

Le réseau SEBIOPAG est composé de cinq sites d'études répartis dans différentes régions françaises aux contextes pédoclimatiques variés: les sites de Rennes, Chizé, Toulouse, Avignon et Dijon (Cf. Figure 5 p28). Chaque site comprend en tout 20 parcelles suivies, 15 en AC et cinq en AB.

Durant ce stage, la caractérisation des systèmes de cultures s'effectue via des enquêtes menées auprès des agriculteurs des exploitations agricoles du sud de la région Rennaise (Ille – et – Vilaine) appartenant au réseau SEBIOPAG (Cf. infra Figure 4 p28). Ces enquêtes ont pour but de caractériser le raisonnement des agriculteurs concernant le choix et la mise en œuvre d'un système de culture. Il s'agit ici de rendre compte de la logique de mise en place du système de culture sur une année moyenne. Cela permet notamment d'identifier leurs pratiques alternatives à l'utilisation d'intrants ainsi que les règles de décisions et de conduites de leurs systèmes de cultures. Les enquêtes sont menées à l'aide d'un guide d'entretien préalablement réalisé avec la supervision du maître de stage (Cf. Annexe 1), ainsi qu'un plan du parcellaire de l'exploitation concernée. L'entretien est enregistré puis fait l'objet d'une retranscription quasiment intégrale par la suite.
es retranscriptions sont structurées sous la forme de guides d'entretien complétés, mais également de fiches de synthèse par exploitation (Cf. Annexe 2) et de tableaux comparant les informations récoltées, tant quantitatives que qualitatives, entre les différentes exploitations. Au final, les enquêtes ont été réalisées chez 17 des 20 agriculteurs du réseau SEBIOPAG, trois ne désirant pas être enquêtés.

2.1.2. Des données mobilisables déjà disponibles

Des travaux sont réalisés afin d'identifier l'impact des pratiques agricoles sur la régulation biologique. Pour cela, chaque année les pratiques agricoles sont relevées précisément sur la parcelle de suivi des exploitations du réseau SEBIOPAG via des enquêtes auprès des agriculteurs, débutées en 2015. La participation à ces entretiens avec les agriculteurs de la région Rennaise permet notamment d'avoir une première approche du sujet et des exploitations concernées. La diversité des exploitations de l'échantillon a pu être appréhendée grâce à ces données (Cf. Annexe 3Annexe 2). Ainsi, la plupart sont en EARL[1] (47%), le reste étant en GAEC[2] (29%) ou en individuel (24%), bien que la majorité en Ille-et-Vilaine concerne le statut individuel (56%)[3]. En moyenne, les agriculteurs se sont installés en 1992, mais les dates d'installation varient de 1977 à 2014.

[1] Exploitation Agricole à Responsabilité Limitée
[2] Groupement Agricole d'Exploitation en Commun
[3] Chiffres Agreste 2010

La main d'œuvre disponible sur les exploitations est en moyenne de 2,2 UTH[1], ce qui correspond à la moyenne départementale de 2,02 UTH (CER France, 2014), mais varie de 1 à 3,8. Hormis une exploitation exclusivement en grandes cultures, toutes sont en polycultures-élevage. La production est majoritairement orientée bovin lait (à 59%) avec un cheptel allant de 31 à 65 vaches laitières, ce qui rejoint la tendance en Ille-et-Vilaine, au 1er rang national des départements laitiers avec 49% de ses exploitations en bovins lait [2].On retrouve cependant deux exploitation en bovins viande (12%) avec un troupeau de 15 à 139 bêtes. On retrouve également des élevages porcins (24%) ainsi qu' un élevage caprin et un de volaille. La SAU[3] varie de 26,5 ha à 176,2 ha, avec une moyenne de 87,3 ha sur l'échantillon supérieure à la moyenne départementale de 63 ha[4].

Des mesures de prédations des bioagresseurs et d'abondance des auxiliaires de cultures ont également été effectuées sur les parcelles de suivi des exploitations du réseau SEBIOPAG de chaque site. Ces mesures sont réalisées annuellement et ont débuté en 2014, la seconde campagne 2015 étant en cours d'exécution. Ces parcelles sont sélectionnées selon deux gradients :

- un gradient paysager, construit selon la composition et l'hétérogénéité du paysage ainsi que la connectivité des éléments boisés (haies comprises).
- un gradient de pratiques, à l'échelle de la parcelle de suivi (IFT[5]) ou du système agricole en place (AB ou AC).

Figure 5: Les sites de recherches impliqués dans le réseau SEBIOPAG (source : www.sebiopag.inra.fr) (tiré de Frémaux, 2014)

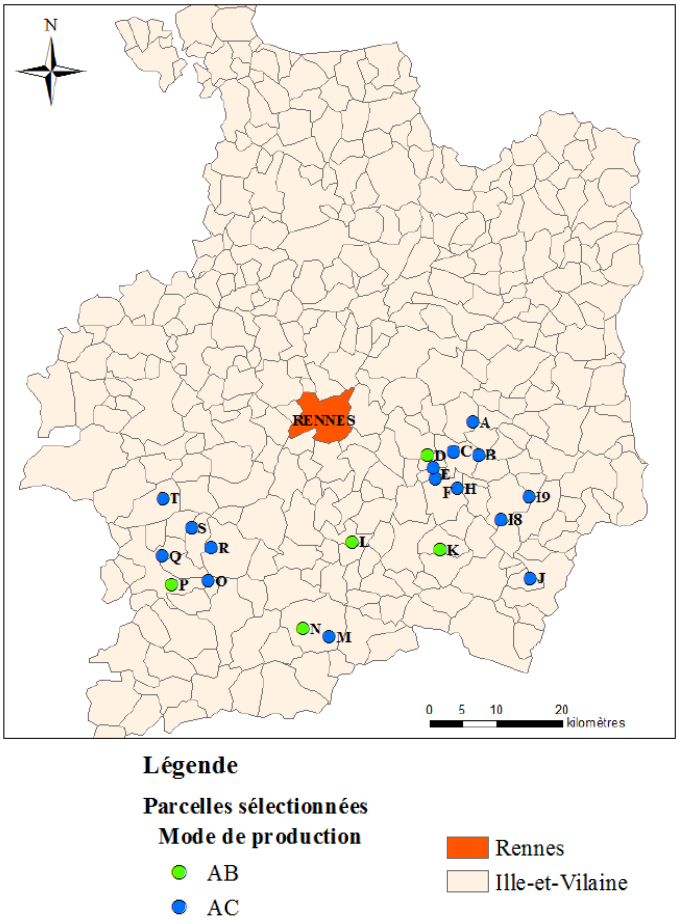


Figure 4: Localisation des 20 parcelles SEBIOPAG et leur mode de production (AB: agriculture biologique, AC: agriculture conventionnelle)

[1] Unité de Travail Humain
[3] Surface Agricole Utile
[5] Indice de Fréquence de Traitement

Ainsi, chaque parcelle est située au centre d'un cercle de 1 km² de surface, considérant qu'une distance minimale de 500m autour de la parcelle est nécessaire pour parler de paysage (Chaplin-Kramer et al., 2011 cité par Frémaux, 2014) (Cf. ci - contre Figure 6).

Les bioagresseurs concernés pour les mesures de prédation sont les pucerons, graines d'adventices et œufs de lépidoptères, et les insectes concernés pour les mesures d'abondance d'auxiliaires sont les carabes. Ces mesures de prédation ont été réalisées par exposition de proies sentinelles, en appliquant le protocole standardisé SEBIOPAG testé en 2013 sur 25 parcelles dans quatre sites (tests avec différents types de proies, carte de prédation multi-choix vs indépendantes, hauteur dans la végétation et durée d'exposition).

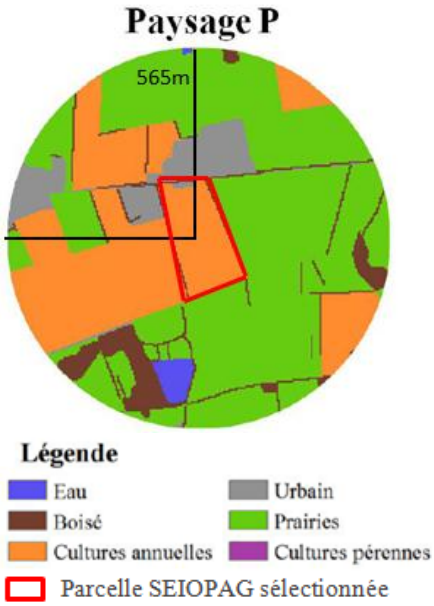


Figure 6: Exemple d'un paysage P dans le cercle de 1km² autour du centre de la parcelle sélectionnée

2.2. En aval : l'analyse des informations collectées

A partir des informations collectées et dans le but de répondre à la problématique formulée, nous cherchons tout d'abord à identifier les systèmes de cultures favorables à la régulation biologique, avant de les caractériser et d'évaluer leur complexité de leur mise en œuvre.

2.2.1. L'effet des systèmes de culture sur la régulation biologique

L'objectif de cette partie est d'identifier l'effet des systèmes de culture sur la régulation biologique afin d'arriver à une typologie en trois groupes, différenciant les systèmes de culture :

- favorables à la régulation biologique
- défavorables à la régulation biologique
- intermédiaires pour lesquels nous ne pouvons pas établir d'effets stricts

Pour cela nous procédons de deux manières. L'une se base sur les mesures d'abondance et de richesse spécifique en carabes. Cependant ces mesures n'ont été effectuées que sur une seule année et une seule culture, alors que notre analyse porte sur le système de culture moyen pluriannuel. Par conséquent, nous nous basons tout d'abord sur la bibliographie (Cf. § 1.1.2 p6) afin d'évaluer les effets sur la régulation biologique des pratiques en place sur l'ensemble du système de culture.

2.2.1.1. Les pratiques à priori favorables à la régulation biologique

Grâce aux recherches bibliographiques préalables, nous avons pu identifier les pratiques agricoles caractérisées comme à priori favorables à la régulation biologique (Cf. Tableau 2 supra). Ainsi, nous tâchons d'identifier la présence ou l'absence de ces pratiques au niveau du système de culture en place sur la parcelle de suivi SEBIOPAG pour chacune des exploitations enquêtées.

En parallèle, nous identifions les raisons expliquant leur absence afin d'évaluer les freins aux pratiques favorables à la régulation biologique. L'évaluation de ces pratiques nous permet donc d'avoir une première typologie des systèmes de cultures présumés comme en théorie favorables à la régulation biologique. Chaque pratique est pondérée en fonction de l'importance de son impact sur la régulation biologique considérée, puis assimilée à des classes. Chacune de ces classes représente une note selon son impact présumé plus ou moins positif sur la régulation biologique (peu favorable = 1, moyennement favorable = 2 et très favorable = 3) afin d'attribuer une note globale à chaque exploitation (Cf. Annexe 4).

Le recours aux produits phytosanitaires fait partie des pratiques évaluées et est estimé via l'indicateur de l'IFT. Cependant, ce dernier n'a été évalué que pour le blé lors de la campagne 2014. L'influence des pratiques agricoles sur la régulation biologique ainsi que l'effet du paysage local évalué au niveau des cultures en place en 2014 et fait l'objet d'un autre mémoire (Kristell Jégou, 2015, stagiaire à l'INRA SAD Paysage de Rennes). Ainsi, n'ayant pas l'IFT moyen du système de culture, l'évaluation du recours aux produits phytosanitaires s'effectue à partir de l'IFT blé 2014. En effet il apparaissait peu réaliste de recueillir lors des enquêtes aux agriculteurs les doses de tous les produits pour toutes les cultures du système de culture, n'étant pas l'objet principal du mémoire. Nous faisons donc l'hypothèse que les agriculteurs se classent les uns par rapport aux autres de la même manière pour toutes les cultures. En effet, les exploitations se trouvent toutes dans la même zone climatique, par conséquent elles connaissent sensiblement les mêmes pressions des bioagresseurs. Les résultats seront complétés par le suivi sur le long terme réalisé sur les exploitations les années suivantes. L'IFT blé 2014 sert donc d'indicateur et est comparé à l'IFT blé moyen de Bretagne.
Ceci permet de situer chaque exploitation par rapport à ce qu'il se fait en moyenne dans sa région et ainsi évaluer sa stratégie en termes de traitements phytosanitaires (optique de réduction des apports).

2.2.1.2. La corrélation des systèmes avec les mesures de carabes 2014

Dans un second temps, nous tentons d'identifier les systèmes de cultures favorables à la régulation biologique en nous basant cette fois – ci sur les mesures d'abondance et de richesse spécifique d'auxiliaires (carabes) effectuées en 2014. Nous choisissons de considérer uniquement cette variable car elle est quantitative, contrairement aux mesures de prédation. Par conséquent, lorsque nous parlons de régulation biologique, nous raisonnons en termes de potentiel de régulation biologique, en nous basant sur l'hypothèse que plus il y a d'auxiliaires de culture, plus la régulation biologique est potentiellement importante. Nous pourrons ensuite corréler ces résultats à ceux se basant sur la bibliographie et comparer les deux classifications. Dans le cas où les différences entre le classement effectué à partir de la bibliographie et celui effectué à partir de mesures 2014 ne peuvent pas être expliquées par les pratiques en place au sein du système de culture, nous nous pencherons sur l'effet du paysage, en considérant l'hypothèse que ce dernier est d'autant plus fort que les pratiques sont peu favorables à la régulation biologique.

Nous pouvons pour cela nous baser sur le gradient paysage locale des parcelles SEBIOPAG caractérisé dans l'étude de Kristell Jégou (stagiaire INRA-SAD Paysages 2015). Ce dernier est évalué dans un cercle d'1 km² autour de la parcelle de suivi, notamment grâce à l'indice de Shannon caractérisant l'hétérogénéité du paysage.

2.2.2. Caractérisation des systèmes de culture et de leur complexité de mise en œuvre

Une fois l'impact de ces systèmes de cultures sur la régulation biologique caractérisé, nous cherchons à déterminer quel type de conduite ces systèmes nécessitent et en quoi leur mise en place est complexe. Pour cela nous abordons différents points de vue en analysant trois composantes complémentaires caractéristiques du système de culture :

- la rotation
- l'itinéraire technique
- la stratégie décisionnelle.

2.2.2.1. L'analyse globale

Pour chacune de trois composantes des systèmes de cultures, nous tentons d'établir des typologies afin d'arriver à un ordre de complexité de mise en place de ces systèmes. Pour les deux composantes quantitatives que sont l'itinéraire technique et la rotation, leur analyse se déroule en deux temps. Nous réalisons une première typologie basée sur une analyse à dire d'expert des données de l'échantillon. Puis afin de vérifier cette analyse, nous la comparons avec une analyse statistique à partir du logiciel R Commander. Etant donné que chaque composante inclue plusieurs variables, cette analyse comprend une ACP[1] afin d'identifier les variables d'importance expliquant la variabilité de l'échantillon, suivie d'une typologie réalisée à partir d'une CAH[2] afin de caractériser différents groupes au sein de l'échantillon. Au vu de l'effectif de l'échantillon ces deux typologies sont réalisées en trois classes, ce qui permet d'avoir un groupe intermédiaire mais aussi, pour la composante rotation, des classes plus équilibrées et des variables caractéristiques de chaque groupe plus pertinentes.
Le nombre de classes sera si besoin adapté en fonction des résultats. Nous comparons enfin les résultats des deux types d'analyses pour arriver à une seule typologie finale. La troisième composante, qualitative, fera en revanche uniquement l'objet d'une analyse à dire d'expert.

En parallèle, pour chaque composante nous essayons de faire le lien avec les raisons qui déterminent les choix des agriculteurs. En effet, le type de système de culture en place peut être lié au mode de production, aux objectifs généraux, à la disponibilité des ressources productives etc. Concernant la corrélation avec les ressources productives, nous caractérisons dans un premier temps quelles sont les ressources productives jugées pertinentes (Cf. Tableau 3 infra et Annexe 5).

[1] Analyse en Composantes Principales
[2] Classification Ascendante Hiérarchique

Puis il parait pertinent d'évaluer les éventuelles corrélations entre les variables de ressources productives elles – mêmes, via une matrice des corrélations (Cf. Tableau 8 de l'Annexe 5).
Enfin, nous réalisons une analyse statistique via une ACP afin d'identifier d'éventuels liens entre les ressources productives et les trois composantes du système de culture.

Tableau 3: Les différentes variables des ressources productives

Ressources productives	Variables de complexité des ressources productives
Parcellaire	Distance de la parcelle la plus éloignée de la ferme (en km)
	Nombre d'ilots
	Surface moyenne d'un ilot (en ha)
Main d'œuvre	UTH/SAU
Matériel	Disponibilité du matériel (recours à une CUMA[1])
Temps de travail	Sous – traitance de travaux agricoles

2.2.2.2. Première composante caractérisant le système de culture: l'assolement

La complexité d'assolement est évaluée à l'échelle de l'exploitation en prenant en compte six variables quantitatives différentes (Cf. infra Tableau 4). Concernant l'analyse à dire d'expert, certaines variables sont considérées comme plus importantes que d'autre et sont donc pondérées en conséquence. Chaque variable est assimilée à une classe de complexité binaire (deux modalités, forte et faible) en assimilant à la modalité forte la note de 3 et à la modalité faible la note de 1. Les choix de ces classes et pondérations sont justifiés en Annexe 6. Chaque exploitation a donc un nombre défini de modalité « forte » et « faible » ainsi qu'une note de complexité totale. En fonction de cette note, nous pouvons alors effectuer une typologie des systèmes selon le degré de complexité de leur assolement.

Concernant l'analyse statistique, nous choisissons de supprimer du jeu de données les variables relatives au nombre d'associations en cultures annuelles et en interculture pour l'ACP. En effet, elles contiennent une part importante de 0 et une faible amplitude de variations par rapport aux autres variables (2 à 3 contre 5 à 7 pour les quatre autres variables), ce qui fausse les résultats (Cf. Figure 14 de l'Annexe 7). De plus, la variable « nombre d'associations en interculture » fait partie des variables pondérées faiblement car considérées comme moins importante. La variable « nombre d'associations en cultures annuelles » est quant à elle malgré tout considérée dans l'analyse après les résultats statistiques afin de discerner d'éventuelles correspondances avec les groupes créés.

Tableau 4: les six variables de complexité de l'assolement

Variables de complexité de l'assolement	Pondération
Nombre de cultures différentes	2
Nombre d'associations d'espèce différentes en culture annuelle	1
Nombre d'associations d'espèces en interculture	0,5
Nombre de couverts différents possibles	0,5
Durée moyenne rotation (années cultivées, hors PT)	1
Nombre de rotations sur l'exploitation	1

[1] Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole

2.2.2.3. Deuxième composante caractérisant le système de culture: l'itinéraire technique.

La complexité en termes d'itinéraire technique est évaluée à l'échelle du système de culture en place sur la parcelle de suivi SEBIOPAG. Pour cela nous décomptons le nombre de passages optionnels et le nombre de passages potentiels réalisés par l'agriculteur. Les passages potentiellement effectués rassemblent les passages systématiques et optionnels. Un passage est considéré optionnel si l'opération n'est pas constamment effectuée du fait d'une adaptation de la part de l'agriculteurs aux conditions réelles locales (climat, parcellaire, temps...). Décompter le nombre de passages revient à décompter toutes les fois où l'agriculteur intervient dans la parcelle, hors semis et récolte qui sont des interventions systématiques pour chaque culture et ne seront donc pas prises en compte.

L'information nombre de passages optionnels et nombre de passages potentiels apportent des notions de complexité différentes. En effet, on considère que plus l'agriculteur effectue un grand nombre de passages en optionnel, plus son système est complexe car les interventions nécessitent plus de critères de décision concernant le choix de leur mise en place que des interventions systématiques.
Par ailleurs, un système effectuant un grand nombre de passages potentiels est considéré comme plus complexe car cela nécessite plus de temps de travail, de déplacements etc. qu'un système en effectuant un faible nombre.

Cependant toutes les opérations n'impliquent pas le même temps de travail. C'est pourquoi nous choisissons de les séparer en deux groupes : un groupe rassemblant les opérations chronophages, à savoir le travail du sol (préparation du sol et désherbage mécanique) et la fertilisation organique, et un groupe rassemblant les opérations moins consommatrices de temps, à savoir les traitements phytosanitaires et la fertilisation minéral. En effet, les opérations de travail du sol et de fertilisation organique prennent plus de temps tant au niveau de la préparation (chargement du fumier…) que du passage en lui – même (vitesse et largeur de passage plus réduite que pour les traitements chimiques). Le dénombrement des opérations potentiels se fait ainsi pour chacun des deux groupes, considérant que plus il est élevé pour les opérations chronophages, plus l'itinéraire technique est complexe à mettre en œuvre au regard du temps passé.
Nous faisons également le lien entre le nombre de passages potentiels et le nombre de passages systématiques, car ce dernier peut faire varier de manière plus ou moins importante le nombre de passages réels.

Nous différencions donc deux aspects de la complexité de l'itinéraire technique. Via le nombre d'opérations potentielles et leur part dédiée à des travaux peu ou très chronophages nous abordons l'aspect chronophage qu'implique la réalisation des travaux agricoles. Via le dénombrement des passages optionnels, nous abordons la complexité de la prise de décision en amont pour les mettre en place. En couplant par la suite les deux typologies réalisées à partir de ces deux aspects de la complexité de l'itinéraire technique, nous tenterons d'arriver à une seule typologie.

2.2.2.4. Troisième composante caractérisant le système de culture: la stratégie décisionnelle des agriculteurs

Nous tentons de comprendre quelle stratégie l'agriculteur développe pour la mise en place de son système de culture et ce qui distingue les agriculteurs les uns des autres. A priori, il semble important de prendre en compte le recours à des observations et une adaptation aux conditions réelles.
Nous nous attachons également à déterminer les types et la quantité de critères de décisions que l'agriculteur mobilise mais également la manière dont l'information est obtenue, cette dernière pouvant requérir plus ou moins de temps et de connaissances techniques.

Ainsi dans un premier temps, nous effectuons une typologie à partir d'une analyse qualitative en nous basant sur la relecture des entretiens afin de caractériser la stratégie décisionnelle globale qui se dégage, en pointant ce qui diffère de la tendance générale pour chaque agriculteur.
Puis nous tentons de vérifier cette analyse qualitative avec une analyse quantitative afin de confirmer ou non les résultats. L'analyse quantitative se base sur différentes variables, notamment le nombre et type de critères de décisions et les sources d'informations mobilisées (Cf. Annexe 8).

Par ailleurs, nous essayons de corréler ces résultats avec le nombre de passages optionnels effectués, ce dernier constituant un indicateur de la complexité de la stratégie décisionnelle de l'agriculteur au niveau de ses interventions (Cf. supra § 3.2.3.2.).

PARTIE III: RESULTATS

3.1. L'effet des systèmes de culture sur la régulation biologique

3.1.1. Les pratiques à priori favorables à la régulation biologique au sein du système de culture

3.1.1.1. Typologie des systèmes de culture selon l'effet théorique de leurs pratiques sur la régulation biologique

A partir de l'analyse des pratiques à priori favorables à la régulation biologique au sein des systèmes de cultures en place sur la parcelle de suivi SEBIOPAG (Cf. Annexe 9), nous pouvons distinguer trois groupes d'exploitation (Cf. Tableau 5 p35). A l'inverse, le groupe dont les systèmes de cultures sont à priori peu favorables à la régulation biologique rassemble des exploitations ayant un IFT supérieur à l'IFT moyen Blé en Bretagne (en moyenne 4,9 contre 3,6). La fertilisation est également majoritairement chimique, ils effectuent peu d'associations de variétés et peu de cultures sont concernées par les TCS.

Le groupe intermédiaire est le groupe rassemblant le plus grand nombre d'exploitations (huit). Ces dernières se caractérisent par une pratique courante des TCS, une fertilisation organique plus élevée que le premier groupe. En revanche leur IFT reste supérieur à l'IFT moyen Blé en Bretagne (en moyenne 3,9 contre 3,6) bien que plus faible que le premier groupe.

Nous constatons que le groupe dont les systèmes de cultures sont à priori les plus favorables à la régulation biologique rassemble uniquement les exploitations en AB de l'échantillon. En effet ces dernières se différencient des autres par l'absence d'utilisation de produits phytosanitaires et engrais chimique qui ont un impact négatif majeur sur la régulation biologique. Pour pallier à cette absence, elles ont des rotations longues et diversifiées et sont les seules à effectuer des associations d'espèces. En revanche, peu ont recours aux TCS (86% cultures sont labourées systématiquement).

A l'inverse, le groupe dont les systèmes de cultures sont à priori peu favorables à la régulation biologique rassemble des exploitations ayant un IFT supérieur à l'IFT moyen Blé en Bretagne (en moyenne 4,9 contre 3,6). La fertilisation est également majoritairement chimique, ils effectuent peu d'associations de variétés et peu de cultures sont concernées par les TCS.

Le groupe intermédiaire est le groupe rassemblant le plus grand nombre d'exploitations (huit). Ces dernières se caractérisent par une pratique courante des TCS, une fertilisation organique plus élevée que le premier groupe. En revanche leur IFT reste supérieur à l'IFT moyen Blé en Bretagne (en moyenne 3,9 contre 3,6) bien que plus faible que le premier groupe.

Tableau 5: Caractéristiques des groupes d'exploitations selon leur système de culture considéré comme à priori plus ou moins favorables à la régulation biologique

Classe système de culture	**Note**	**Code agriculteurs**	Taux moyen de passages en fertilisation organique par culture	% moyen de cultures labourées en systématique	Nombre élevé de variétés par culture	Taux de culture avec mélange variétal	IFT Blé 2014
favorable à la régulation biologique	>18	AB1, AB2, AB3, AB4, AB5	100%	86	2,47	56	0
moyennement favorable à la régulation biologique	14<n <18	AC4, AC6, AC7, AC8, AC9, AC10, AC11, AC12	47%	26	2,66	29	3,853
peu favorable à la régulation biologique	<14	AC1, AC2, AC3, AC5	35%	50	1,25	0	4,889

3.1.1.2. Les raisons expliquant la mise en place des pratiques favorables à la régulation biologique

(Cf. Annexe 10)

Certains systèmes de cultures ont un impact meilleur que d'autres sur la régulation biologique par la présence de pratiques plus favorables. Cependant la mise en place ou non de ces dernières dépend de différentes raisons propres aux agriculteurs et aux caractéristiques de leurs exploitations.

Le désherbage mécanique

La plupart des agriculteurs n'ont pas recours au désherbage mécanique car ils n'en ont pas l'habitude. Cependant quelques uns commencent à s'y intéresser car ils savent qu'ils vont de plus en plus devoir y avoir recours pour pallier la diminution des produits phytosanitaires (AC1, V 1[1]).

Certains n'y ont pas recours pour des raisons pratiques, comme pour le maïs en plasticulture, mais bien souvent, les agriculteurs considèrent leur système comme trop propice au développement d'adventices et préfèrent ne pas prendre de risque. Cela peut impliquer:

- Une fertilisation à base de lisier pouvant comporter des adventices issus d'aliments (AC9, V 2)
- Des TCS (AC11, V 3)
- Des systèmes en grande culture impliquant une absence de prairie dans la rotation *(*AC7, V 4)
- Des systèmes en polyculture-élevage impliquant la production de fourrages et limitant ainsi les possibilités de diversification culturales (AC11, V 5)

De plus, le désherbage mécanique est plus chronophage que le chimique et n'est pas considéré comme aussi efficace (AC8, V 6).

De ce fait il est utilisé chez les agriculteurs en AC uniquement en appoint. Il ne remplace en rien le désherbage chimique mais le complète ponctuellement lorsqu'il n'y a pas le choix ou que les conditions sont défavorables (AC2, V 7 ; AC5, V 8).

C'est pourquoi les agriculteurs ne préfèrent pas prendre de risque et estiment qu'un désherbage chimique appliqué au bon moment est suffisant (AC9, V 9 ; AC11, V 10*)*.

Pour plusieurs d'entre eux, le recours au désherbage mécanique est un essai récent (1 an ou 2). Ce désherbage mécanique n'est en outre rendu possible que si les engins sont disponibles à la CUMA (AC5, V 11 ; AC8, V 12).

Le désherbage mécanique est utilisé chez les agriculteurs en AB pour remplacer les désherbants chimiques. Cependant nous pouvons remarquer qu'ils utilisent classiquement la herse - étrille ou la houe - rotative sur leur céréales mais que la plupart (trois sur les cinq) aimeraient pouvoir les biner. Ceci est compromis par la taille de l'inter-rang, trop petit, avec 15 cm contre les 30 cm requis pour passer la bineuse. Cette condition peut apparaître contraignante pour certains agriculteurs, car cela peut impliquer :

- L'achat d'un semoir différent (AB4, V 13).
- Un équipement collectif (AB2, V 14).
- La mobilisation de deux personnes au lieu d'une lorsque c'est avec herse - étrille (AB3, V 15).

[1] Verbatim n°1 de l'agriculteur AC1, retranscrit en Annexe 10

La fertilisation organique

Tous les agriculteurs effectuent une fertilisation organique pour répondre à la nécessité d'épandre leurs effluents d'élevage. En effet, tous sont en polyculture - élevage, sauf un (AB4). Mais ce dernier étant en AB il est également contraint de fertiliser à partir de ressources organiques.

Les seuls agriculteurs effectuant 100% de leur fertilisation en organique sont en AB.

Un agriculteur (AC9) effectue cependant la quasi-totalité en organique (seul un passage en chimique sur Colza) car il conduit un élevage porcin de taille importante (naisseur - engraisseur) et a par conséquent beaucoup de lisier à épandre.

Les agriculteurs en AC ont recours à une fertilisation organique seulement pour certaines cultures. Pour tous, c'est le maïs qui est prioritaire. Ceci s'explique par deux raisons:

- Une bonne valorisation des engrais organiques par le maïs (AC11, V 16)
- Un épandage au printemps entrainant donc moins de risques de tassement du sol par rapport aux cultures d'hiver (AC8, V 17). C'est pourquoi les agriculteurs évitent d'épandre des effluents organiques sur les céréales d'hiver (AC10, V 18).

Nous pouvons alors nous pencher sur la solution de l'épandage sans tonne, que plusieurs agriculteurs utilisent (AC6, AC7, AC9). Elle permet de passer sur tous les terrains même lors de conditions peu favorables, sans les tasser, à conditions qu'ils ne soient pas trop éloignés des fosses (AC6, V 19).

Les facteurs limitants à la fertilisation organique sont souvent liés à l'élevage:

- La taille du troupeau conditionne les stocks de lisier disponibles (AC6, V 20)
- Le type d'élevage détermine les propriétés des effluents d'élevage plus ou moins adaptés à la fertilisation. Par exemple, AC1 conduit un élevage caprin, or le fumier de chèvre n'est pas forcément préconisé d'être épandu sur le blé et l'orge. De même, AC5 conduit un élevage porcin dont le lisier n'est pas assez riche. L'épandre nécessiterait donc plusieurs passages qui risqueraient de tasser le sol pour le blé d'hiver (AC5, V 21).

Les Techniques Culturales Simplifiées

76% des agriculteurs enquêtés effectuent des TCS (29% sur toute leur exploitation et 47% sur quelques cultures). Les TCS présentes des avantages pour les agriculteurs:

- Un gain d'argent via des économies liées au carburant (AC6, V 22) ou à l'arrêt de sous - traitance pour les travaux du sol (AC11, V 23).
- Une facilité de passage pour des parcelles difficile à travailler (AC8, V 24 et AC12, V 25)
- le maintient de la fertilité du sol (AC11, V 26).
- Un gain de temps (AC4, V 27).

Cependant ce point est remis en cause par d'autres du fait de la nécessité d'attendre d'avoir une terre parfaitement sèche pour effectuer des TCS (AC10, V 28).

Les TCS nécessitent cependant une certaine connaissance technique (AC10: *"C'est très dur techniquement à réaliser*").

C'est pourquoi plusieurs agriculteurs se sont lancés dans la continuité de leurs parents ou suite à la rencontre de personnes expérimentées dans ces techniques (AC8, V 29).

Notons néanmoins que sur les agriculteurs de l'échantillon conduisant intégralement leurs cultures en TCS, trois ont recours au labour lorsque les conditions sont défavorables (pluies, tassement, débris végétaux) (AC2, V 30 et AC3, V 31).

Mais si la plupart des agriculteurs ont recours aux TCS seulement pour quelques cultures c'est car plusieurs contraintes les font rester en système labouré. Parmi ces contraintes, nous pouvons citer:

- Le type de cultures en place ou précédentes.

Certains agriculteurs préfèrent labourer pour des cultures nécessitant une terre fine comme la betterave ou le colza (AC4, AC10). Le recours ou non au labour dépend aussi du précédent cultural car la quantité de débris végétaux au sol et la structure de ce dernier va varier selon le type de culture précédente (AB1, V 32 ; AC6, V 33 ; AC10, V 34)

- La volonté de diminution des intrants chimiques :

La conduite en TCS peut aller à l'encontre de cette volonté car elle est souvent liée à plus d'utilisation de désherbants chimiques pour gérer le salissement du sol (AC11, V 35 et AC10, V 36).

- Les caractéristiques intrinsèques propres aux exploitations :

L'absence de recours aux TCS peut être due aux caractéristiques pédoclimatiques des sols (AC9, V 37 et AB5, V 38) ou à des problèmes sanitaires nécessitant une aération des sols (AC1, V 39).

- La gestion du salissement

C'est la principale raison freinant les agriculteurs dans l'arrêt du labour. En effet, les TCS impliquent une certaine indulgence envers la présence d'adventices, et certains agriculteurs ne sont pas prêts à l'accepter (AC5, V 40).La gestion du salissement est en outre la raison pour laquelle aucune des exploitations en AB n'a recours aux TCS pour leurs cultures. Les intrants chimiques étant proscrits, leur seul moyen d'action pour gérer le salissement est le travail du sol (AB5, V 41). Cependant, trois des quatre exploitations en AB conduisant un élevage effectuent toutes un semis direct sous couvert pour leurs prairies. Ceci leur permet d'économiser du carburant (AB3, V 42), de gagner une coupe d'herbe et de rembourser le cout d'implantation de la prairie (AB2, V 43).

Des rotations longues et diversifiées

Sur les cinq exploitations pour qui allonger et diversifier la rotation est important (AB2, AB3, AB4, AB5 et AC12), quatre sont AB. Ces dernières n'ayant pas recours aux intrants chimiques, la maîtrise des bioagresseurs passe par une rotation longue et diversifiée (AB2, V 44 et AB4, V 45). De manière générale, l'allongement et la diversification des rotations sont considérées comme bénéfiques par les agriculteurs, car cela permet:

- l'amélioration de la fertilité du sol (AC1, V 46)
- la diversification de la ration des animaux élevés (AC4, V 47)
- la gestion du salissement des sols (AC11, V 48)

Les cultures que les agriculteurs souhaiteraient implanter pour diversifier leurs rotation sont principalement des légumineuses (luzerne, pois, vesce, trèfle incarna...) dans l'optique d'apporter de l'azote, au sol (AC12, V 49) et dans la ration des animaux (AB2, V 50 et AC1, V 51). Mais le manque de soutien pour leur mise en place est déploré (AC7, V 52). La betterave est aussi une culture d'intérêt en remplacement du maïs (AB1, V 53 ; AC1, V 54 ; AC4, V 55).

Le fait de ne pas diversifier et allonger ses rotations s'explique de différentes manières.

Cela peut relever d'une volonté de l'agriculteur de simplification du système (AC11, V 56).

Par ailleurs, différentes contraintes peuvent compromettre un allongement et une diversification des rotations, comme des ressources productives limitées:

- Contrainte de surface limitant la possibilité d'insertion d'une nouvelle culture (AB4, V 57).
- Contrainte de matériel lié à la gestion du salissement de certaines cultures en AB (AB2, V 58).

La question des débouchés est également un frein à la diversification :

- Des marchés pas toujours intéressants comme pour le chanvre ou le pois (AC7, V 59 et AC1,V 60).
- Valorisation des cultures insérées pour l'alimentation de l'élevage pas toujours possible (AC1, V 61 et AC11 V 62).

Les mélanges multi-espèces

Seul cinq agriculteurs de l'échantillon effectuent des associations variétales, dont quatre sont en AB. En effet, les systèmes en AB, dépourvues d'intrants chimiques, doivent trouver des moyens de gérer le salissement et d'apporter de l'azote au sol. L'association culturale fait partie de ces moyens. Les cultures multi-espèces permettent notamment de sécuriser la production, via un équilibre qui se crée entre les espèces associées (AC1, V 63 et AB5, V 64).

Hormis un essai de mélange Avoine - Blé mis en place pour valoriser des terres argileuses et humides (AC12), les espèces mélangées sont systématiquement des légumineuses (pois ou féverole) avec des graminées (avoine, orge, blé, triticale, épeautre). Ces mélanges présentent plusieurs avantages d'après les agriculteurs:

- Une bonne couverture du sol : cela permet une maîtrise du salissement et une diminution du dessèchement du sol (AB4, V 65; AB5, V 66).
- Un apport d'azote au sol : l'apport d'azote grâce aux légumineuses permet une meilleure production de la céréale associée (AB4, V 67)
- Un apport d'azote dans la ration : lorsque ces cultures sont consommées par le troupeau, elles apportent également de l'azote dans la ration (AB3, V 68).

Le reste des agriculteurs n'effectuant pas d'associations culturales n'a pas formulé de raisons particulières. En revanche, parmi ceux y ayant recours, certains mentionnent plusieurs contraintes:

- Le mélange des graines avant le semis, consommatrice de temps (AC12, V 69).
- Le tri des grains à la récolte, qui implique la nécessité pour l'agriculteur d'être équipé d'une trieuse (AB4, V 70).

- De mauvais retours

L'absence de résultats pour certains mélanges peut freiner les agriculteurs dans la mise en place d'associations culturales (AB1, V 71 et AB2, V 72).

Les mélanges multi-variétaux

65% des agriculteurs de l'échantillon effectuent des mélanges variétaux, majoritairement pour le maïs et le blé (chacun représente 41% des mélanges effectuées), les autres mélanges étant des cas isolés (seigle, triticale et orge). Les agriculteurs y voient en effet plusieurs bénéfices:

- Limiter les maladies et la verse des cultures (AC7, V 73 ; AC2, V 74)
- Un meilleur taux de protéine dans le blé (AC8, V 75)
- Comparaison du potentiel de chaque variété plus aisée (AC2, V 76 et AB4, V 77)
- Sécurisation de la production. La raison majeure est l'effet d'équilibre qu'il se crée entre les variétés, car les caractéristiques de ces dernières se complètent, amoindrissant les risques d'échec dus à tel ou tel facteur (AC10, V 78 ; AB4, V 79 ; AC11, V 80)

Les freins au mélange variétal peuvent être d'ordre général ou spécifiques à une culture. Par exemple, pour le blé d'hiver, les raisons peuvent concerner :

- Un mélange des graines contraignant avant le semis (AC6, V 81).
- Une détection des meilleures variétés plus difficile (AC6, V 82).
- Des bénéfices plus faibles liés aux mélanges variétaux (AC10, V 83).

Mais globalement, les freins au mélange variétal touchent à:

- Des opérations vues comme plus complexes:
  La récolte (AC9, V 84 et AB4, V 85) et les traitements phytosanitaires (AC2, V 86).
- Une détection de maladies plus difficile due à un aspect visuel plus composite (AC2, V 87).
- Une préférence de la part de l'agriculteur (AC9, V 88).
- Une absence de réflexion sur ce sujet (AC11:"*Je n'ai jamais essayé de mélanger. Je ne sais pas pourquoi, je ne me suis jamais posé la question.").*

A partir de la bibliographie, nous avons pu caractériser trois groupes de systèmes de cultures plus ou moins favorables à la régulation biologiques, selon l'impact théorique des pratiques effectuées sur ce processus. Suite à l'analyse des raisons expliquant les choix des agriculteurs, nous avons également pu identifier les freins à la mise en place de ces pratiques à priori favorables à la régulation biologique (Cf. infra Tableau 6). Ces freins peuvent être classés en quatre ordres différents et peuvent être liés:

- à la disponibilité des ressources productives: temps, matériel, surface, connaissances techniques.
- aux contraintes extérieures telles que le marché (débouchés).
- aux objectifs de l'agriculteur, qu'ils soient généraux ou spécifiques à une pratique
- au type de production en place sur l'exploitation

Il convient de vérifier ces résultats à partir des mesures 2014 d'abondance et de richesse spécifique.

Tableau 6: Freins et intérêt à la mise en place des pratiques favorables à la régulation biologique (source personnelle)

	Intérêts pour les agriculteurs	Freins pour les agriculteurs
Désherbage mécanique	Alternative dans un contexte de diminution des produits phytosanitaires	Efficacité contre les adventices plus faible que le désherbage chimique
		Chronophage
	Permet de travailler le sol si tassements	équipement spécifique pas toujours disponible
		Binage des céréales compliqué
Fertilisation organique	Ecouler les effluents d'élevage	Type d'élevage
		Absence d'élevage ou troupeau de petite taille
	Possibilité de l'épandage sans tonne	Tassements si épandage avec tonne sur céréales d'hiver
TCS	Gain de temps	Perte de temps
	Gain d'argent	Connaissances techniques requise
	Facilité de passage	Gestion du salissement difficile
	Maintient de la fertilité du sol	Souvent lié à une haute utilisation de désherbants chimiques
	Ne dessèche pas le sol	Ne permet pas d'aérer, décompacter ou affiner le sol
Diversification et allongement des rotations	Maîtrise des bioagresseurs et maladies	Complexification du système
	Amélioration de la fertilité du sol	Manque de surface ou de matériel
	Diversification de la ration	Valorisation des cultures compliquée
Mélange d'espèces	Apport d'azote au sol et dans la ration des animaux	Mélange des grains avant semis chronophage
	Maîtrise du salissements	Nécessité d'équipement pour tri grains
	Diminution dessèchement du sol	Pas toujours une bonne production selon les espèces mélangées
	Sécurisation et augmentation de la production	
Mélange de variétés	Sécurisation de la production par complémentarité entre les variétés	Mélange contraignant des grains de blé avant semis
	Comparaison aisée entre variétés	Détection des maladies moins facile
	Diminution de la sensibilité aux maladies et à la verse	Traitements phytosanitaires différents pour chaque variété
	Augmentation taux de protéine blé	Récolte moins facile

Légende

= Objectifs généraux de l'agriculteur

= Objectifs propres aux résultats attendus d'une pratique

= Disponibilité des ressources productives

= Autres

= Type de production

3.1.2. Corrélation des groupes de système de culture prédéfinis à partir de la bibliographie avec les mesures SEBIOPAG 2014

3.1.2.1. Les moyennes d'abondance et de richesse spécifique en carabes pour chaque groupe de système de culture prédéfini à partir de la bibliographie

A partir des mesures d'abondance et de richesse spécifique (Cf. Tableau 13 de l'Annexe 11), nous pouvons assimiler une moyenne à chaque groupe d'exploitations prédéfini précédemment comme plus ou moins favorable à la régulation biologique (Cf. infra Tableau 7).

Tableau 7: Abondance et richesse spécifique moyenne des carabes pour chaque groupe de systèmes de culture selon leur impact préjugé sur la régulation biologique

Groupes de système de culture selon leur impact préjugé sur la régulation biologique	Code agriculteurs	Abondance carabe moyenne	écart - type	Richesse spécifique carabes moyenne	écart - type
favorable à la régulation biologique	AB1, AB2, AB3, AB4, AB5	94,50	76,18	8,60	1,64
moyennement favorable à la régulation biologique	AC4, AC6, AC7, AC8, AC9, AC10, AC11, AC12	17,69	11,35	5,63	1,46
peu favorable à la régulation biologique	AC1, AC2, AC3, AC5	14,38	9,543	4,63	1,32

Nous pouvons alors constater que le groupe rassemblant les cinq systèmes de cultures en AB définies comme à priori favorables à la régulation biologique ont les moyennes les plus élevées tant en termes d'abondance de carabes que de richesse spécifique. Ceci va dans le sens de l'analyse effectuée sur la base de la bibliographie. Concernant les deux autres groupes nous observons bien qu'abondance et richesse spécifique moyennes sont plus faibles pour les systèmes de cultures préjugés peu favorables à la régulation biologique que pour celles moyennement favorables. Cependant, les différences entre ces deux groupes sont faibles. Les systèmes de cultures réunis dans ces deux groupes auraient donc un impact sensiblement identique sur la régulation biologique. Il convient ainsi d'analyser indépendamment les systèmes de cultures à partir des mesures d'abondance et de richesse spécifique en carabes.

3.1.2.2. Typologie des systèmes de cultures à partir des mesures 2014: comparaison avec le classement basé sur la bibliographie

Lorsque l'on effectue une typologie des systèmes de cultures à partir de ces mesures d'abondance et de richesse spécifique en carabes, celle issue de l'analyse à dire d'expert et celle issue de l'analyse statistique correspondent (Cf. figure 7 et 8 de l'Annexe 11). En revanche, cette typologie ne correspond pas forcément à celle réalisée à partir de l'analyse bibliographique (Cf. infra Figure 7).

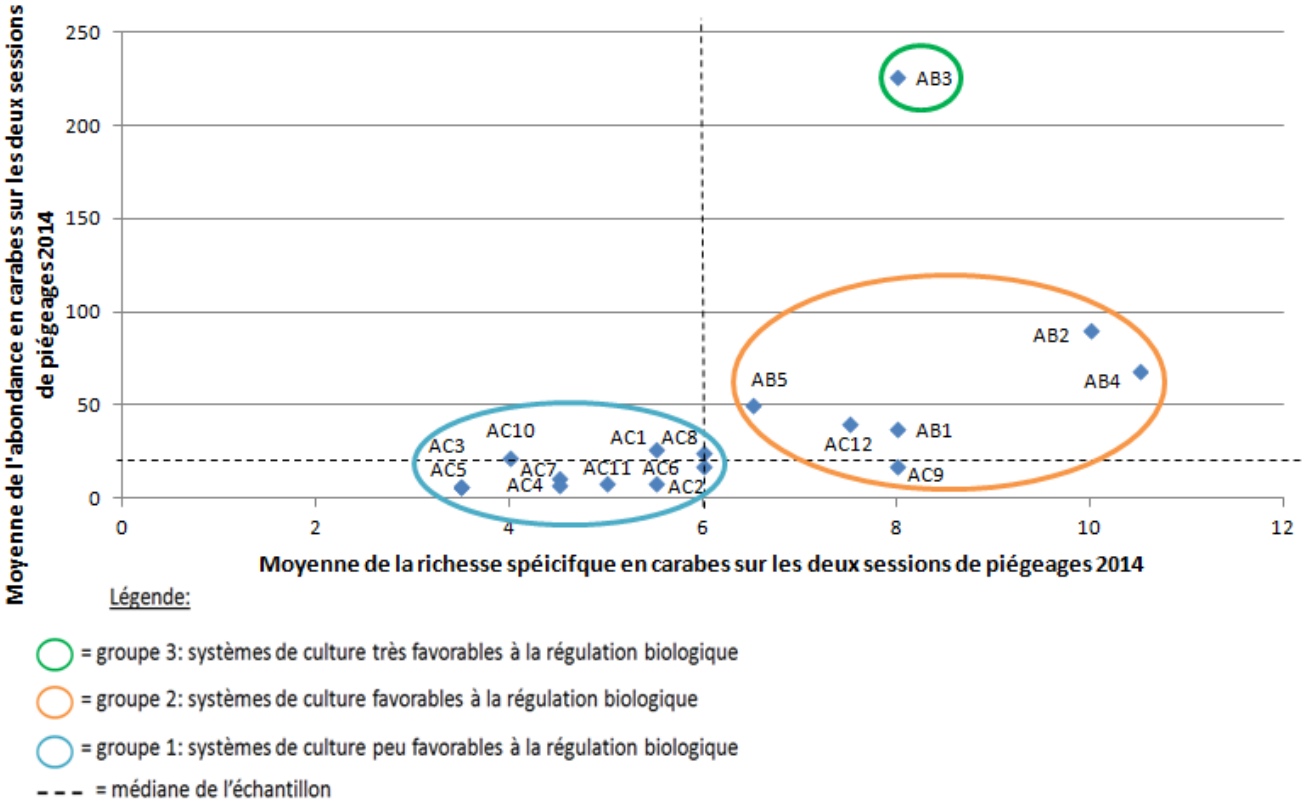


Figure 7: Les systèmes de cultures favorables à la régulation biologique en termes d'abondance et de richesse spécifique d'auxiliaires de cultures (carabes)

Nous pouvons essayer d'expliquer les systèmes de cultures qui diffèrent par différents éléments.

Longueur de la rotation, l'association variétale et d'espèce

Les systèmes de culture en AB font tous partie des groupes les plus favorables à la régulation biologique. Cependant AB3 se distingue des autres par une abondance et une richesse spécifique en carabes très élevée. Ceci pourrait s'expliquer par les pratiques en place dans son système de culture :

- La rotation culturale la plus longue de l'échantillon (6 ans contre 3,5 ans en moyenne en AB).
- Le plus grand nombre d'associations culturales de l'échantillon
  (3 associations culturales contre en moyenne 0,53 pour l'échantillon et 1,6 en AB)
- Le plus haut taux de cultures dont les variétés sont mélangées
  (80% contre en moyenne 30% pour l'échantillon et 56% en AB).

La diversification de la rotation et un faible IFT

AC12 appartient au groupe favorable à la régulation biologique. Pourtant, tous les systèmes de cultures en AC sont réunis dans le groupe peu favorable à la régulation biologique, avec une abondance et une richesse spécifique en carabe inférieure à la moyenne générale de l'échantillon.
Ceci peut s'expliquer par le fait qu'AC12 a un système de culture dont l'IFT blé 2014 est le plus faible et la rotation la plus diversifiée des systèmes de cultures en AC (neuf cultures différentes contre une moyenne d'échantillon à 5,65).

La fertilisation organique et un nombre élevé de variétés par culture

AC9 appartient également au groupe favorable à la régulation biologique et se différencie des autres exploitations en AC par une richesse spécifique supérieure à la moyenne de l'échantillon (en moyenne 8 espèces différentes contre 6,26). Ceci peut s'expliquer par le fait qu'AC9 est le seul système de culture en AC intégralement fertilisé organiquement.

C'est aussi celui qui présente le nombre le plus élevé de variété par culture (4,50 contre une moyenne d'échantillon à 2,27), bien que les variétés ne soient pas mélangées. C'est cependant également celui qui a le plus fort IFT sur son blé d'hiver (6,6), bien qu'AC9 soit dans une logique raisonnée (AC9 : "*On diminue les doses si on voit qu'il n'y a pas besoin de mettre la pleine dose.").*

L'effet du paysage

Dans l'analyse basée sur la bibliographie, AC1, AC2, AC3 et AC5 sont classées comme les moins favorables à la régulation biologique. A partir des mesures d'abondance et de richesse spécifique en carabes, ces quatre systèmes de culture appartiennent bien au groupe peu favorable à la régulation biologique, avec AC5 et AC3 présentant les moyennes les plus faibles de l'échantillon, mais AC1 et AC2 font partie des moyennes élevées de ce groupe. Ceci ne trouve pas d'explication en termes de pratiques plus ou moins favorables à la régulation biologique. Nous pouvons alors penser que ces résultats sont dus à un effet du paysage, en considérant l'hypothèse que ce dernier est d'autant plus fort que les pratiques sont peu favorables à la régulation biologique. Ceci expliquerait les changements de classes pour les systèmes de culture en AC. Nous observons alors que le paysage peut contribuer à expliquer l'impact favorable sur la régulation biologique du système de culture d'AC12 et d'AB3, qui présente les indices de Shannon les plus élevés de l'échantillon (respectivement 1,39 et 1,56 pour une moyenne d'échantillon à 1,19), mais pas de celui d'AC1, AC2 et AC9, dont les indices de Shannon sont les plus faibles (respectivement 1,06, 0,97 et 0,87 pour une moyenne d'échantillon à 1,19).

3.1.2.3. Typologie finale

Après comparaison entre la typologie basée sur la bibliographie et celle basée sur les mesures d'abondance et de richesse spécifique des carabes, nous effectuons une typologie finale (Cf. infra Figure 8). Ainsi, nous observons une différence importante entre les notes attribuées aux cinq exploitations en AB et celles en AC (moyenne de 24,85 en AB contre 14,69 en AC) mais pas entre les exploitations en AC. Par conséquent, nous choisissons de constituer une typologie en deux groupes, chacun constitués de deux sous - groupes.

Le premier groupe rassemble 10 systèmes de cultures peu favorables à la régulation biologique, avec un sous-groupe constitué de deux systèmes de cultures (AC3 et AC5), caractérisés comme très peu favorables. Leur abondance et leur richesse spécifique en carabes sont faibles (respectivement une moyenne de 14,05 et 4,8 contre 39,50 et 6,26 en moyenne d'échantillon).

Quant aux pratiques à priori favorables à la régulation biologique, elles sont peu présentes au sein de ces systèmes de culture.

Le second groupe rassemble sept systèmes de culture favorables à la régulation biologique, essentiellement en AB (5 sur les 7), avec un sous - groupe constitué d'une exploitation (AB3) caractérisée comme très favorable à la régulation biologique.

Leur abondance et leur richesse spécifique en carabes sont élevées (respectivement une moyenne de 75,86 et 8,36 contre 39,50 et 6,26 en moyenne d'échantillon) et les pratiques à priori favorables à la régulation biologique sont fortement présentes au sein de ces systèmes de culture.

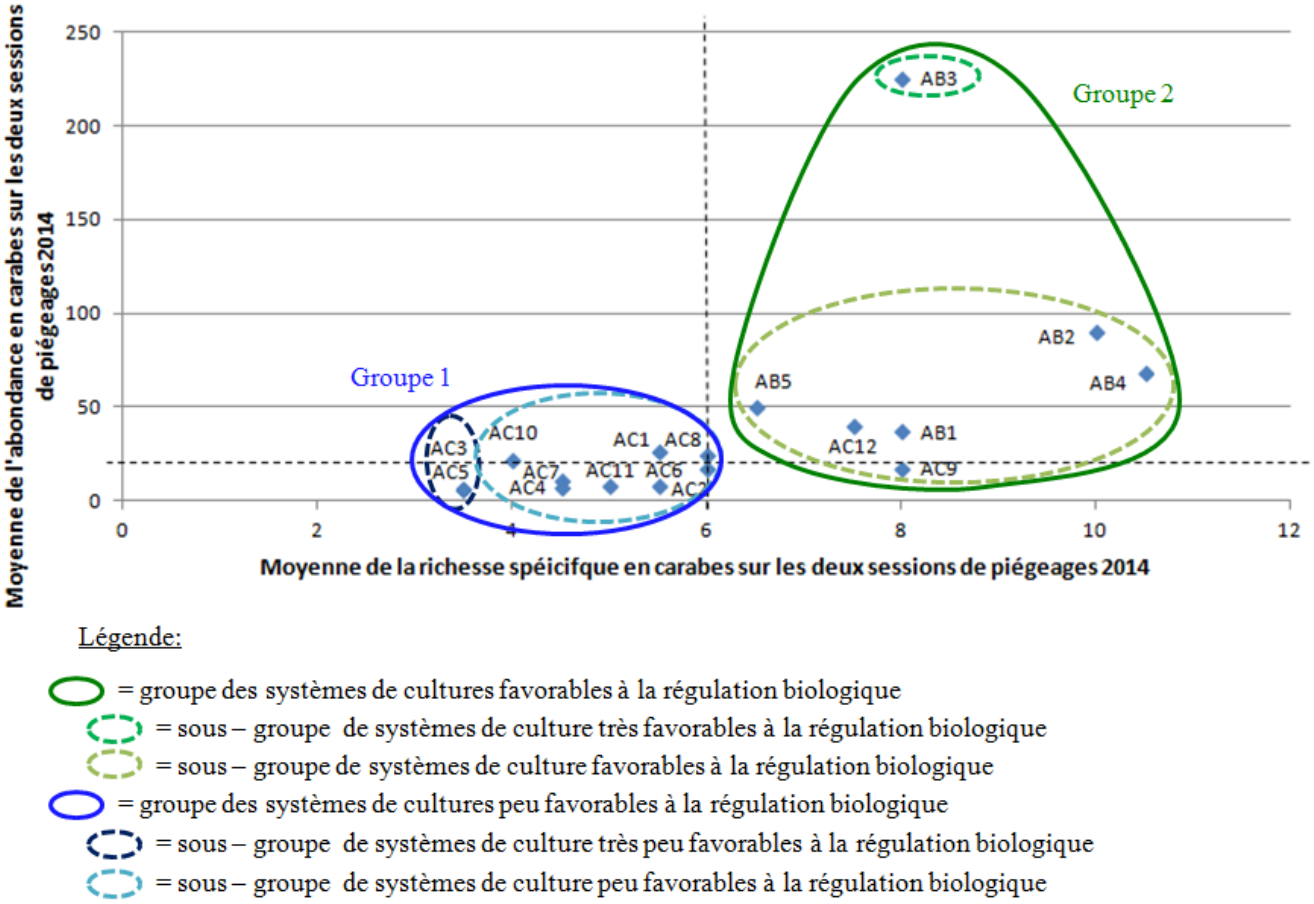


Figure 8: Typologie finale des exploitations favorables à la régulation biologique (réalisée sur la base de la bibliographie et des mesures 2014 d'abondance et de richesse spécifique en carabes)

A partir de la bibliographie et des mesures 2014, nous avons pu distinguer au sein de l'échantillon deux groupes: l'un rassemblant des systèmes de culture peu favorables à la régulation biologique et l'autre réunissant des systèmes de cultures favorables à cette dernière.

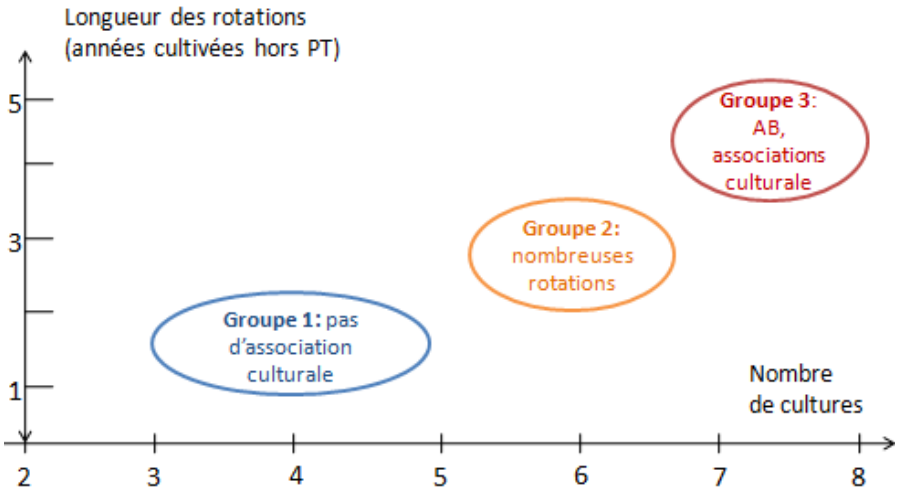
Nous observons que certaines pratiques un impact plus important que d'autre sur la régulation biologique, comme la fertilisation organique, longueur et la diversité de la rotation ou encore l'association variétale et d'espèce. Il convient désormais de caractériser plus précisément ses systèmes et d'évaluer s'ils sont complexes ou non à mettre en œuvre.

3.2. La conduite de ces systèmes de culture et leur complexité de mise en œuvre

3.2.1. Assolement et succession culturale comme variables de complexité

3.2.1.1. L'analyse à dire d'expert

Compte tenu des résultats (Cf. Annexe 12), nous avons pu définir trois groupes à la complexité variable au niveau de l'assolement (Cf. infra Figure 9).



Légende:
Groupe 1: complexité faible
Groupe 2: complexité moyenne
Groupe 3: complexité forte

Figure 9: Typologie des systèmes de cultures selon la complexité de leur rotation réalisée à partir de l'analyse à dire d'expert

- **1er groupe : complexité faible d'assolement**

Note de complexité : de 7 à 10 et nombre de modalités « forte » : 0 ≤ 1er groupe ≤ 2

Les sept exploitations de ce groupe (AB1, AC3, AC4, AC5, AC6, AC7 et AC8) sont caractérisées par:

- Un faible nombre de cultures (3 à 4 différentes) parmi lesquelles le blé d'hiver, le maïs, l'orge et la prairie temporaire. A noter qu'une des exploitations a diversifié son système blé – maïs – PT en ajoutant non pas de l'orge mais de la betterave. Aucune n'a d'associations culturales.
- Les rotations culturales

Le nombre de rotation est majoritairement faible, en moyenne 3, mais varie entre 1 et 4 et n'est donc pas une variable caractéristique de ce groupe. En revanche ce groupe se caractérise par des durée de rotation faible, en moyenne de 1,7 années cultivées hors PT (écart – type de 0,50). Les rotations principales sont maïs-blé pour 29% d'entre elle et maïs-maïs pour 24% d'entre elles. Le reste des rotations regroupe des monocultures de blé ou d'orge, des rotations à trois cultures maïs/betterave-blé-orge et des rotations incluant une prairie (maïs-blé-orge-PT, maïs-PT, maïs/betterave-blé-PT).

- Un nombre de couvert en interculture globalement fort (en moyenne 2,9 différents).

Environ la moitié des exploitations effectue des couverts multi-espèces. Cependant, compte tenu de la forte diversité de réponse, nous ne pouvons pas considérer cette variable comme caractéristique de ce groupe (2 à 5 couverts différents, 1,21 d'écart – type).

➔ Le groupe 1 se caractérise donc par un faible nombre de cultures différentes, l'absence d'associations culturales et des rotations courtes.

- **2ème groupe : complexité moyenne d'assolement**

Note de complexité : de 11 à 14 et nombre de modalités « forte » : 2 < 2ème groupe ≤ 4

Les cinq exploitations de ce groupe (AC1, AC2, AC9, AC10 et AC11) sont caractérisées par:

- Un nombre élevé de cultures différentes mais pas de culture en association: 6 cultures en moyenne, allant de 4 à 9 différentes. En plus des cultures de base blé-maïs-orge et prairies, on retrouve du colza et du triticale en majorité mais aussi de l'avoine et du sarrasin.

On trouve également des légumineuses comme la luzerne ou la vesce, ou encore du miscanthus ou de la betterave. En revanche, aucune exploitation ne possède de culture en association.

- Les rotations sont moyennement longues, en moyenne 2,6 années cultivés, mais nombreuses (en moyenne 4,4 différentes contre 3,35 pour l'échantillon). Les modalités les plus fortes pour cette variable sont rassemblées dans ce groupe (sur les six exploitations seules une a un nombre de rotation faible (2)). On ne retrouve pas de rotations types au sein de ce groupe.
- Un nombre de couvert en interculture globalement faible (en moyenne 1,7).

La moitié des exploitations possèdent plus d'un couvert tandis que l'autre n'en possède pas ou qu'un seul. Hormis un, tous ceux effectuant des couverts interculturaux en effectuent des multi-espèces.

➔ Les exploitations de ce groupe sont donc caractérisées par un nombre élevé de cultures différentes bien qu'un faible nombre de couverts interculturaux différents et des rotations moyennement longues mais nombreuses.

- **3ème groupe : complexité d'assolement forte**

Note de complexité : de 15 à 18 et nombre de modalités « forte » : 4 < 3ème groupe ≤ 6

Les cinq exploitations de ce groupe (AB2, AB3, AB4, AB5et AC12) sont caractérisées par:

- Le mode de production :

Sur les cinq exploitations de ce groupe, toutes sont en AB sauf une (AC12), soit 80% des exploitations. Nous pourrions penser que toutes les exploitations étant en AB sont caractérisées par un assolement complexe cependant sur les cinq de notre échantillon, l'une d'entre elle a un assolement peu complexe (AB1).

- Un nombre de cultures très élevé, en moyenne 7,5 différentes (écart – type de 2).

En plus des cultures susmentionnées, on retrouve des cultures de céréales telles que le seigle, le blé de printemps et différentes sortes de méteil, mais aussi des oléagineux tels que le lin et le tournesol. Ce qui caractérise ce groupe est la présence dans toutes les exploitations d'associations de culture, graminées – légumineuses (blé, triticale, orge, avoine ou épeautre associée à du pois ou de la féverole).

- Un nombre de couvert en interculture moyen et homogène (en moyenne de 2 différents).

Sur les quatre exploitations, trois effectuent des mélanges multi-espèces pour ces intercultures.

- Les rotations

Les exploitations de ce groupe se caractérisent par des rotations longues avec en moyenne 4,6 années cultivées, mais moyennement nombreuses (3,25 rotations différentes en moyenne).

➔ Les exploitations de ce groupe se caractérisent donc par un mode de production majoritairement en AB, un nombre très élevé de cultures différentes et la conduite d'associations culturale, ainsi que des rotations longues bien que moyennement nombreuses.

3.2.1.2.L'analyse statistique

➢ **ACP**

Etant donné que nous considérons quatre variables différentes, celles expliquant moins de 25% de la variance ne sont pas jugées comme pertinentes. Par conséquent, après l'ACP, les axes 1 et 2 sont ceux expliquant le plus la diversité de l'échantillon (47,53% pour l'axe 1 et 28,39% pour l'axe 2). L'axe 1 est caractérisé par le nombre de culture (à 48%) et la durée des rotations (à 31,5%). L'axe 2 est caractérisé principalement par le nombre de couverts en interculture (à 36%) et le nombre de rotation (-0,76 soit 51,2%).

L'axe 3, caractérisé essentiellement par le nombre de rotation (à 46,6%) explique également 20,35% de la variabilité et est donc d'importance (Cf. Figure 15, Annexe 7).

➢ **La classification après l'ACP**

(Cf. Figure 16 à 19 de l'Annexe 7).

Nous avons choisi de travailler sur les trois axes principaux, l'écart entre l'axe 2 et 3 étant faible (expliquent chacun 28,39% et 20,35% de la diversité). Comparé aux valeurs moyennes de l'échantillon, on caractérise ainsi trois groupes (Cf. Figure 10):

- Le groupe 1, composé de neuf exploitations, caractérisé par des rotations courtes (1,9 ans contre 2,7) et un faible nombre de cultures différentes (3,8 contre 5,6).
- Le groupe 2, composé de deux exploitations, caractérisé par un nombre de rotations élevé (6 contre 3,4).
- Le groupe 3, composé de six exploitations, caractérisé par un nombre de cultures élevé (8,2 contre 5,6) et des rotations longues (4 ans contre 2,7).

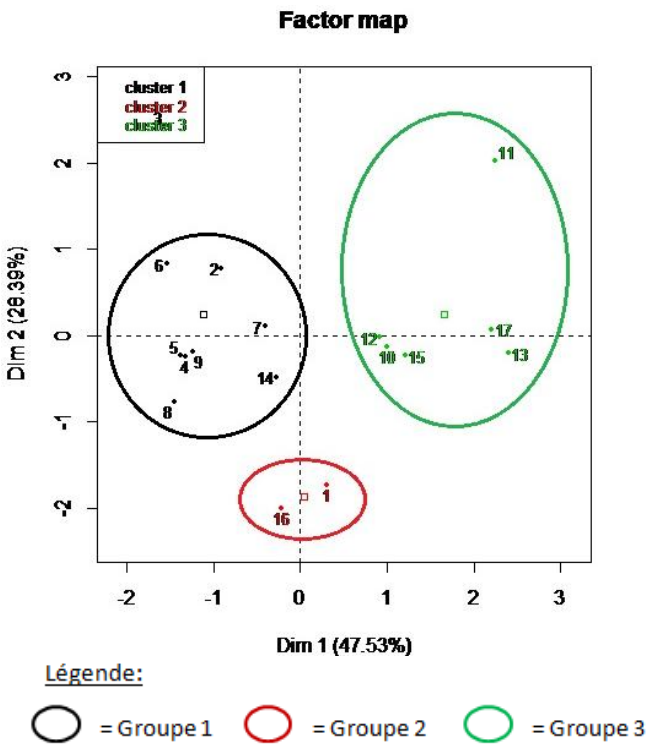


Figure 10: Classification à partir des quatre variables du paramètre rotation, selon les 3 axes principaux (ACP réalisée sur R cmdr)

Au regard du faible effectif du second groupe, nous pourrions diviser l'échantillon en deux au lieu de trois en rassemblant les groupes 1 et 2. Nous aurions alors un premier groupe d'exploitations caractérisé par des rotations courtes et peu de cultures, parmi lequel nous pourrions distinguer deux exploitations qui ressortent par un nombre de rotations élevés.

3.2.1.3. Comparaison entre l'analyse à dire d'expert et l'analyse statistique (Cf. Annexe 13)

En comparant les analyses à dire d'expert et statistique, nous pouvons voir que les résultats concordent pour 14 exploitations. Nous retrouvons bien les deux variables discriminantes discernées lors de l'analyse à dire d'expert : le nombre de cultures et la durée des rotations.

Cependant, contrairement à l'analyse statistique qui a tendance à ségréguer les exploitations en deux grands groupes, l'analyse à dire d'expert distingue un groupe intermédiaire. Ainsi la répartition au sein des groupes diffère pour trois exploitations (AC2, AC9 et AC10). Celles - ci présentent des données à cheval entre deux groupes. Nous décidons donc de leur répartition selon l'importance donnée à certaines variables (Cf. Tableau 4 p32) et l'écart plus ou moins grand des données avec les moyennes des groupes. Ainsi, nous choisissons de conserver la typologie réalisée à partir de l'analyse à dire d'expert, qui permet de donner plus d'importance aux variables souhaitées et d'équilibrer les effectifs dans chaque groupe par la présence d'un groupe intermédiaire (Cf. infra Figure 11).

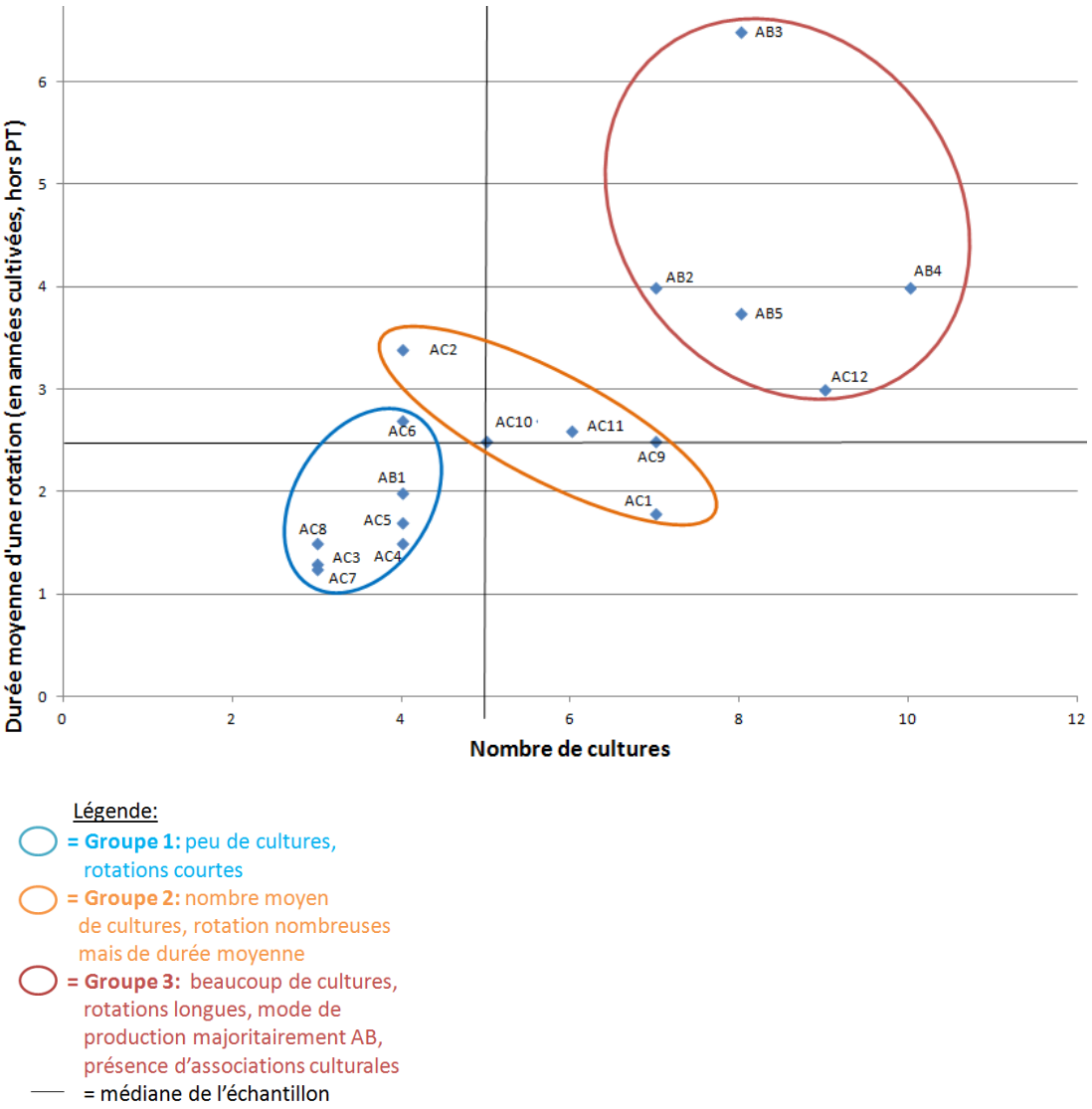


Figure 11: typologie finale des systèmes de cultures selon la complexité de leur rotation réalisée après comparaison entre l'analyse statistique et l'analyse à dire d'expert

3.2.1.4. Les facteurs conditionnant la complexité de la rotation

(Cf. Annexe 14 et infra Tableau 8)

Légende:

- : corrélation avec l'axe 3
- : corrélation avec l'axe 2
- : corrélation avec l'axe 1

- D.parcelle.km : distance entre la parcelle la plus éloignée et le corps de ferme (km)
- S.ilot.ha : Surface moyenne d'un ilot (ha)
- Nbr.opération.ETA : Nombre d'opérations sous-traitées à une entreprise

Tableau 8: Matrice permettant d'évaluer d'éventuelles corrélations entre les variables ressources productives et rotation (ACP réalisée sur R Cmdr)

Supplementary continuous variables

	Dim.1	cos2	Dim.2	cos2	Dim.3	cos2
D.parcelle..km.	0.047	0.002	-0.194	0.038	0.838	0.701
Nbr.ilots	0.040	0.002	0.288	0.083	0.562	0.316
S.ilot..ha.	-0.155	0.024	-0.307	0.094	-0.342	0.117
SAU	-0.162	0.026	0.272	0.074	0.428	0.183
UTH.SAU	0.344	0.118	-0.122	0.015	-0.379	0.143
Nbr.opération.ETA	-0.434	0.188	0.214	0.046	0.020	0.000
mode.production	0.646	0.417	0.393	0.155	-0.140	0.020

Le parcellaire

Suite à l'analyse statistique, nous pouvons constater que l'axe 3, définit par le nombre de rotation, est fortement lié aux variables caractérisant le parcellaire. Ces dernières sont en effet toutes liées entre elles (Cf. Tableau 8 de l'Annexe 5). Nous pouvons donc avancer que plus le parcellaire est complexe (nombre élevé d'ilots, distance élevée de la parcelle la plus éloignée de la ferme, surface par ilot moins importante), plus le nombre de rotations est élevé. Nous pouvons ainsi supposer que le parcellaire influe sur les choix d'assolement des agriculteurs, et que plus il est complexe, plus l'agriculteur doit s'adapter en effectuant des rotations différentes (exemple: Figure 23 et Figure 24, Cf. Annexe 15). A l'inverse, un parcellaire plus simple permet d'avoir une seule et même rotation plus ou moins complexe que l'on peut conduire partout (exemple: Figure 25, Cf. Annexe 15).

La main d'œuvre disponible

L'axe 1 (Cf. Tableau 8 de l'Annexe 5), caractérisé par le nombre de culture, d'associations culturales et la durée des rotations, est corrélable avec la main d'œuvre (UTH/SAU) (0,34) et la sous – traitance (-0.43). Ainsi, plus le ratio UTH/SAU est élevé, plus la rotation est complexe, avec des rotations plus longues et diversifiées et des associations culturales. En effet, une rotation plus complexe demande plus de travail et ne peut ainsi être mis en place que si la main d'œuvre est suffisante. En cas de main d'œuvre limitante, nous pouvons supposer que les agriculteurs cherchent à simplifier leur assolement. En parallèle, des systèmes complexes avec un nombre d'UTH fort effectuent peu de sous – traitance, tandis que les systèmes avec moins d'UTH et donc une main d'œuvre plus limitée, malgré un assolement simplifié, ont plus recours à un organisme prestataire pour se décharger de certaines opérations culturales.

Le mode de production (AB ou AC)

Le mode de production est également lié à la complexité de la rotation : plus la rotation est complexe, plus les exploitations ont tendance à être en AB. En effet les axes 1 et 2 caractérisent les variables de complexité de la rotation (durée et nombre de rotations, de culture, d'associations culturales et couverts d'interculture).

Or le mode de production, en plus d'être corrélé à la main d'œuvre à 50% (Cf. Tableau 8,Annexe 5), apparaît corrélé aux axes 1 et 2 (coefficient de corrélation respectivement de 0,65 et 0,39).

Si la corrélation trouvée avec le nombre de couvert ne trouve pas d'explication et ne semble pas pertinente, celle trouvée avec les autres variables de la rotation s'explique par une nécessité de diversification. En effet, les agriculteurs en AB n'ont pas la possibilité d'utiliser d'intrants chimiques pour lutter contre les bioagresseurs et fertiliser leurs terres. De ce fait, la diversification de leurs cultures constitue le moyen majeur pour amener de l'azote dans leur système et lutter contre les bioagresseurs (adventices, insectes, maladies).

Ce sont en effet les seuls qui effectuent des associations culturales, connues pour être plus résistante qu'une culture pure aux agressions extérieurs, et cultivent des légumineuses, plantes fixatrices d'azote. De plus, les exploitations en AB ont tendance à disposer de plus de main d'œuvre par rapport à leur surface avec en moyenne un ratio UTH/SAU de 0,039 contre une moyenne d'échantillon à 0,029.

Par conséquent nous pouvons dire que les exploitations aux rotations nombreuses, longues, diversifiées et mettant en place des associations culturales, disposent en général d'une main d'œuvre importante et sont majoritairement en AB.

L'échantillon se divise en trois groupes de systèmes de cultures à la rotation plus ou moins complexe à mettre en place selon deux variables principales: le nombre de cultures et la durée de la rotation. Le premier groupe réunis sept systèmes de cultures à la rotation simple, tandis que les deux autres groupes rassemblent chacun cinq systèmes de cultures à la rotation moyennement à très complexe à mettre en place.

Par ailleurs, la main d'œuvre, le parcellaire et le mode de production peuvent influer sur les choix d'assolement et de succession culturale des agriculteurs. Ainsi les exploitations qui disposent d'une main d'œuvre importante par rapport à leur surface, qui ont un parcellaire complexe et qui sont en AB, ont tendance à avoir une rotation plus complexe que les autres.

L'échantillon étant caractérisé du point de vue de la première composante du système de culture qu'est la rotation, il convient désormais de se pencher sur la seconde : l'itinéraire technique.

3.2.2. Des itinéraires techniques plus ou moins complexes

3.2.2.1. Les passages potentiels: l'aspect chronophage des interventions culturales

L'analyse à dire d'expert

Compte tenu des résultats (Cf. Tableau 20 et Tableau 21 de l'Annexe 16), nous avons pu définir trois groupes à la complexité variable au niveau de l'itinéraire technique, sur la base de l'aspect chronophage des interventions culturales (Cf. Figure 12 p53). Les classe sont été définies au regard des valeurs de l'échantillon.

- **Groupe 1 : itinéraire technique peu complexe du fait d'opérations peu chronophages**

Ce groupe rassemble neuf agriculteurs (AC1, AC2, AC3, AC4, AC5, AC6, AC7, AC10, AC12) effectuant un nombre moyen de passages potentiels (en moyenne 7,69) dont la majeure partie concerne les traitements phytosanitaires et la fertilisation minérale (en moyenne 64,21%).

- **Groupe 2 : groupe intermédiaire : itinéraire technique moyennement complexe**

Ce groupe rassemble six agriculteurs : quatre d'entre eux (AB1, AB3, AB4, AB5) effectuent peu de passages potentiels (en moyenne 5,16), mais la majeure partie concerne le travail du sol et la fertilisation organique (en moyenne 95,65%). A l'inverse, les deux autres (AC8, AC11) effectuent beaucoup de passages potentiels (en moyenne 10,25), mais la majeure partie concerne les traitements phytosanitaires et la fertilisation minérale (en moyenne 65,60%).

- **Groupe 3 : itinéraire technique complexe du fait d'opérations chronophages :**

Ce groupe rassemble deux agriculteurs (AB2 et AC9) effectuant un nombre moyen de passages (7,50 en moyenne) dont la majeure partie concerne le travail du sol et la fertilisation organique (70% en moyenne).

En effectuant l'analyse sur la base du nombre de passages systématiques (Cf. Tableau 21 de l'Annexe 16), la typologie est confirmée, exceptée pour deux agriculteurs (AC4 et AB3) dont la majorité de leurs passages sont systématiques. Ainsi leur nombre de passages varie peu, les classant alors dans des groupes de complexité plus forte.

L'analyse statistique

(Cf. Annexe 17)

Trois variables sont prises en compte dans l'ACP:

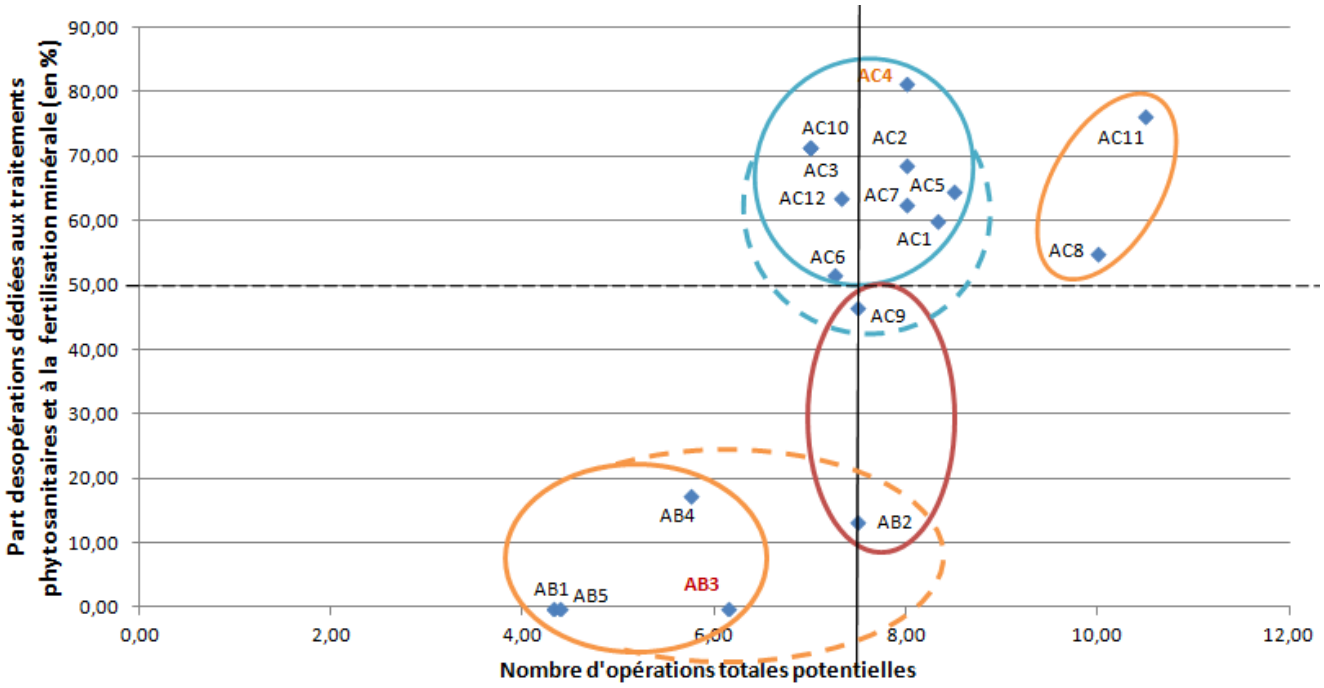
- le nombre total de passages potentiellement effectués
- la part des passages dédiés aux traitements phytosanitaires et à la fertilisation minérale
- la part des opérations dédiées au travail du sol et à la fertilisation organique.

Ainsi, les variables expliquant moins de 33% de la variance ne sont pas jugées pertinentes.

Par conséquent, après l'ACP, l'axe 1 est celui expliquant le plus la diversité de l'échantillon (88, 70%). Il est caractérisé par les deux variables représentant la part dédiée aux différents types de travaux (35,77% chacune). La variable du nombre total de passages potentiellement effectués, qui définit à 71,53% l'axe 2, ne contribue à l'explication que de 11,3% de la diversité de l'échantillon.

La typologie basée sur l'analyse statistique est semblable à celle basée sur l'analyse à dire d'expert mais diffère pour deux systèmes de cultures (AC9 et AB2) (Cf. Figure 12 p53).

En effet, ces derniers sont assimilés à un itinéraire technique complexe dans l'analyse à dire d'expert, tandis que l'analyse statistique distingue seulement deux groupes de systèmes de cultures à l'itinéraire technique faiblement et moyennement complexe.



Légende:

= groupes selon l'analyse statistique

= groupes selon l'analyse à dire d'expert

= groupe 1: itinéraire technique peu complexe

= groupe 2: itinéraire technique moyennement complexe

= groupe 3: itinéraire technique complexe

= médiane de l'échantillon

= seuil des 50%

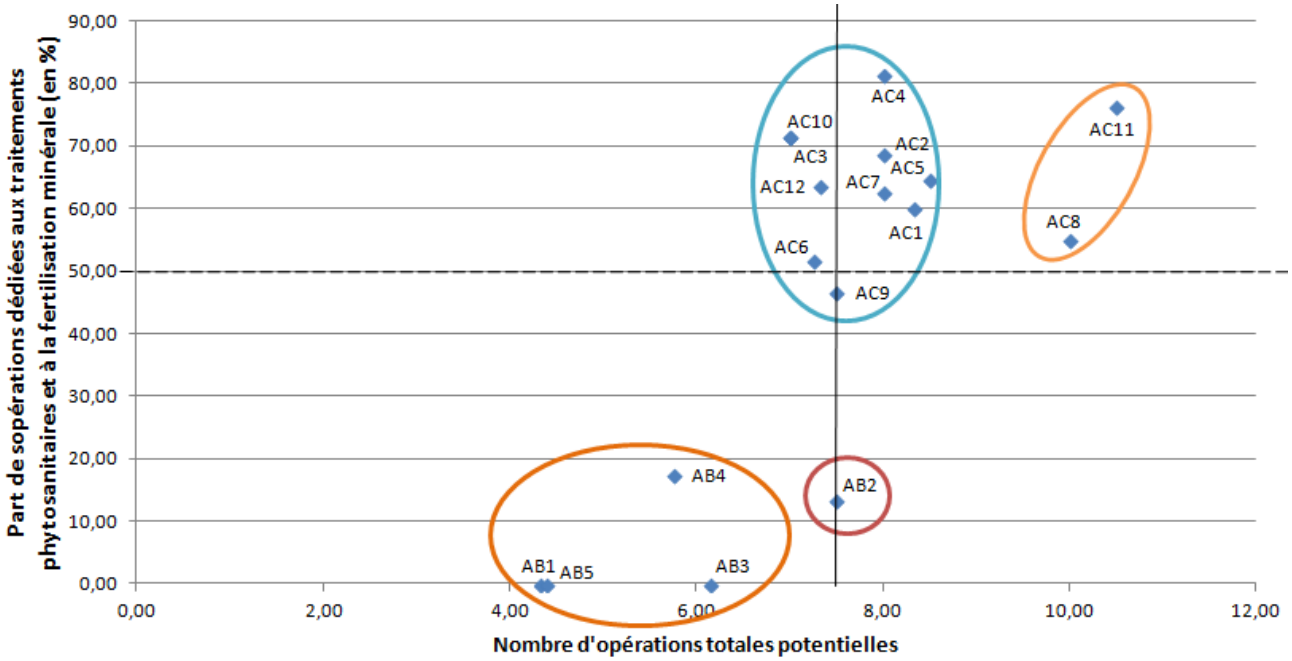
Figure 12: Typologie des systèmes de cultures selon la complexité de l'itinéraire technique basé sur l'aspect chronophage des opérations à partir de l'analyse à dire d'expert et de l'analyse statistique (réalisé à partir d'une ACP sur R Commander en prenant en compte les 2 axes principaux)

La typologie finale

A partir de l'analyse à dire d'expert, AB2 et AC9 sont assimilés à un itinéraire technique complexe du fait qu'elles se situent sur la médiane du nombre d'opérations totales potentielles. La part des opérations potentiellement effectuées par AC9 concerne plus fortement le travail du sol et la fertilisation organique, mais est seulement de 3,33% supérieur au seuil de 50%. Nous pouvons donc l'assimiler au groupe intermédiaire.

En revanche, le nombre d'opérations potentiellement effectuées par AB2 est significativement supérieur à celui des autres exploitations en AB (7,50 contre en moyenne 5,16). Nous choisissons donc de l'assimiler à un itinéraire technique complexe, choix renforcé après relecture de son entretien.

Nous arrivons donc à une typologie finale rendant compte de la complexité de l'itinéraire technique selon l'aspect chronophage de ses interventions (nombre d'opérations potentiellement effectuées et type de travaux). (Cf. Figure 13 p54).



Légende:

= groupe 1: itinéraire technique peu complexe

= groupe 2: itinéraire technique moyennement complexe

= groupe 3: itinéraire technique complexe

= médiane de l'échantillon

= seuil des 50%

Figure 13: Typologie des systèmes de culture selon la complexité de leur itinéraire technique basé sur l'aspect chronophage des opérations, après comparaison entre l'analyse statistique et l'analyse à dire d'expert

3.2.2.2. Les opérations optionnelles : l'aspect décisionnel de l'intervention

L'analyse à dire d'expert

A partir des résultats (Cf. Tableau 24, Annexe 18), nous avons pu définir deux groupes à la complexité variable au niveau de l'itinéraire technique selon l'aspect décisionnel des interventions.

Le groupe 1 rassemble huit agriculteurs (AB1, AB2, AB3, AB5, AC4, AC6, AC9, AC10). Il se caractérise par un nombre faible de passages optionnels (2 contre une moyenne générale de l'échantillon de 2,73). Nous pouvons donc assimiler les exploitations de ce groupe à un itinéraire technique peu complexe au niveau de la prise de décision en amont des interventions.

Le groupe 2 rassemble neuf agriculteurs (AC1, AC2, AC3, AC5, AC7, AC8, AC11, AC12, AB4). Il se caractérise par un nombre élevé de passages optionnels (4 contre une moyenne générale de l'échantillon de 2,73).Nous pouvons donc assimiler les exploitations de ce groupe à un itinéraire technique complexe au niveau de la prise de décision en amont des interventions.

Typologie finale selon l'aspect chronophage et décisionnel des interventions

(Cf. Tableau 2, Annexe 18)

Nous arrivons à trois groupe à l'itinéraire technique plus ou moins complexe tant au niveau de l'aspect chronophage des travaux que de l'aspect décisionnel de l'intervention (Cf. Tableau 9 p55).

Le premier groupe rassemble quatre systèmes de culture (AC4, AC6, AC9 et AC10) à l'itinéraire technique peu complexe. En effet, le nombre de passages potentiels est moyen, la majeure partie sont systématiques et concerne des traitements phytosanitaires et la fertilisation minérale.

Le second groupe constitue un groupe intermédiaire avec des itinéraires techniques moyennement complexes. Il rassemble 10 systèmes de cultures qui se caractérisent par un itinéraire technique complexe seulement pour un de ses deux aspects: l'aspect chronophage des opérations (AB1, AB2, AB3, AB5) ou l'aspect décisionnel (AC1, AC2, AC3, AC5, AC7, AC12).

Le troisième groupe rassemble trois exploitations (AC8, AB4 et AC11) considérées comme ayant un itinéraire technique complexe. Du point de vue décisionnel des interventions, elles effectuent toutes un nombre de passages optionnels élevé. Du point de vue chronophage des interventions, AC8 et AC11 effectuent un nombre élevé de passages, bien que la majeure partie concerne les traitements phytosanitaires et la fertilisation minérale. A l'inverse AB4 effectuent peu de passages potentiels mais la majeure partie concerne le travail du sol et la fertilisation organique.

Tableau 9: Classification des systèmes de culture selon la complexité de leur itinéraire technique basé sur l'aspect chronophage et décisionnel des interventions

Groupes	Code agriculteurs	Nombre moyen passages potentiels	% moyen traitements phytosanitaires et fertilisation minérale	Nombre moyen passages optionnels
1: itinéraire technique peu complexe	AC4, AC6, AC9, AC10	7,44	**62,77**	**1,83**
2: itinéraire technique moyennent complexe	AC1, AC2, AC3, AC5, AC7, AC12	7,86	65,17	**3,67**
	AB1, AB2, AB3, AB5	5,59	**3,33**	1,78
3: itinéraire technique complexe	AC8 et AC11	**10,25**	65,6	**3**
	AB4	5,75	**17,39**	**4**
Moyenne échantillon		7,5	60%	2,73

3.2.2.3. La sous – traitance, un impact à double aspects sur la complexité de l'itinéraire technique

La sous - traitance est un élément lié à l'itinéraire technique. Sous – traiter certains travaux à un organisme agricole extérieur n'est pas un élément explicatif binaire : il ne complexifie ou ne simplifie pas totalement un système. En effet, nous pouvons percevoir cette variable comme une source de simplification, car en sous – traitant certaines tâches, l'agriculteur se dégage de la nécessité d'effectuer une opération lui – même, ce qui lui allège sa charge de travail et lui fait gagner du temps. En revanche, le recours à un organisme extérieur peut être vu comme un élément complexifiant la prise de décision de l'agriculteur, qui ne peut pas choisir précisément ses dates d'intervention. Il doit s'adapter aux disponibilités de l'organisme prestataire avant de pouvoir s'adapter à d'autres variables telles que les conditions climatiques.

C'est pourquoi certains agriculteurs différencient le type d'organismes prestataire et préfèrent avoir recours à une ETA[1] plutôt qu'à une CUMA pour sous - traiter certaines opérations.
La majorité des opérations sont sous – traitées à une ETA, seul quatre agriculteurs de l'échantillon ont recours à une CUMA (AB5 : "*Il y a une concurrence avec les agriculteurs de la CUMA, il faut anticiper mais ça fonctionne bien. Il faut prévenir à l'avance en regardant la météo à 5 jours*.").
En effet, l'ETA est en générale perçue comme plus réactive et disponible et permet donc aux agriculteurs une marge de manœuvre plus grande pour décider de la date d'intervention.
(AC3 "*On est plus entreprise que CUMA, car il y a un patron, il n'y a pas besoin de se mettre d'accord avec tout le monde, on l'appelle on fixe une date et il vient. En plus c'est plus souple que la CUMA, c'est plus facile de reporter les dates.*" ;
AC6 "*Ça serait une CUMA tu attends ton tour, et s'il tombe de l'eau avant la récolte…*").

Nous pouvons en outre identifier que certaines agriculteurs ont plus recours à un organisme de prestation extérieur que d'autre. Pour tous les agriculteurs, les principales opérations effectuées par un prestataire sont la moisson et l'épandage de fumier (respectivement pour 88% et 76% d'entre eux), suivi de près par les semis et le pressage des pailles (pour 65% d'entre eux). Les cinq exploitations y ayant le plus recours (AC2, AC3, AC5, AC6, AB5) sous-traitent en moyenne 5,2 opérations par an. Pour ces cinq exploitations, sous-traiter est une source de simplification: cela leur fait gagner du temps (AC2 : "*On ne peut pas être la fois dans l'élevage et dans les cultures.*" et leur permet d'effectuer des opérations nécessitant du gros matériel pour lesquelles ils ne sont pas toujours équipés. Les contraintes éventuelles de disponibilités de l'entreprise sont réglées par le recours à plusieurs prestataires
(AC6 : "*J'ai 2 voire 3 ETA, comme ça on est bien servi. Si j'ai programmé ma récolte le 24 Juillet, qu'une ne peut pas, j'appelle l'autre.*"). Notons que ces cinq exploitations ont tendance à avoir un parcellaire simple. Elles ont en effet les surfaces moyennes par ilot les plus élevées de l'échantillon (en moyenne 15,54 ha contre une moyenne d'échantillon de 9,54 ha) et un parcellaire regroupé.
Nous pouvons alors supposer que l'entreprise peu intervenir plus facilement et rapidement dans les parcelles de grande taille avec un parcellaire peu éclaté. Les terrains plus délicats (parcelles étroites, dispersées…) nécessitent plutôt l'intervention de l'agriculteur, qui peut être fractionnée dans le temps et effectuée avec des machines moins grosses. Cependant, ceci reste à l'état d'hypothèse.

3.2.2.4. Les éléments pouvant expliquer les choix d'itinéraire technique
(Cf. Annexe 19)

Les ressources productives

Le parcellaire apparait lié au nombre de passages optionnels : plus les exploitations ont un parcellaire complexe (avec notamment une SAU et nombre d'ilots élevé), plus le nombre de passages optionnels est faible. En effet le nombre de passages optionnels est représenté par l'axe 2 (à 77,49%), ce dernier expliquant 23,53% de la variabilité de l'échantillon.

[1] Entreprise de Travaux Agricoles

Or les variables caractérisant le parcellaire sont toutes liées entre elles (Cf. Tableau 8 de l'Annexe 5) et la SAU et le nombre d'ilots apparaissent corrélées à l'axe 2 (avec un coefficient respectivement à -0,76 et -0,50). Un nombre de passages optionnels faible dans des exploitations au parcellaire complexe peut être lié à un souhait de simplification de l'itinéraire technique face à un parcellaire peu simple.
A l'inverse les exploitations ayant un parcellaire simple peuvent plus aisément moduler leur itinéraire technique pour s'adapter aux caractéristiques du parcellaire, via un plus grand nombre d'opérations optionnelles. (AC12 : *"Je laboure presque partout, sauf sur quelques parcelles que je fais au chisel parce qu'elles sont biscornues donc c'est pas facile d'y passer pour labourer."* ; AC5 : *" Si c'est des petites parcelles alors je fais trois passages au lieu d'un: labour, rouleau et herse – étrille.*").

Nous pouvons constater une corrélation entre la main d'œuvre et l'itinéraire technique : plus l'itinéraire technique est simple, plus la main d'œuvre est faible. En effet on observe un coefficient de corrélation de -0,36 entre le rapport UTH/SAU et l'axe 1. Or l'axe 1, qui explique 67,9% de la variabilité de l'échantillon, se définit majoritairement par le nombre de passages potentiels (à 38,2%) et leur part dédiée aux traitements phytosanitaires et fertilisation minérale (à 39,6%). Nous pouvons donc supposer que plus les exploitations effectuent une grande part de leurs opérations en traitements phytosanitaires et fertilisation minérale, qui sont des travaux peu chronophages, moins elles nécessitent de main d'œuvre. Nous pouvons voir les choses dans le sens contraire, en supposant que moins les exploitations disposent de main d'œuvre et plus elles sont contraintes d'effectuer des opérations peu chronophages telles que les traitements phytosanitaires et fertilisation minérale.
De même, la main d'œuvre est corrélé au nombre de passages optionnels, représenté par l'axe 2 (coefficient de 0,40 avec l'UTH/SAU, ce dernier étant positif car les deux coefficients pour l'UTH et la SAU sont négatifs). Ainsi il semble que plus le nombre de passages optionnels est élevé, plus le nombre d'UTH a tendance à être faible, laissant supposer que le caractère optionnel de certaines opérations relève de la faible disponibilité en main d'œuvre. Cependant cette corrélation reste faible, bien qu'elle se vérifie pour quelques exploitations comme AB3 (UTH/SAU=0,027) pour le déchaumage *"On passe 2 ou 3 fois, après c'est en fonction des années, du temps qu'on est disponible…"* ou AC2 (UTH/SAU=0,025) pour les fongicides *"On préfère passer une fois car on n'est pas équipé et on n'a pas le temps"*. Cependant il semble important de souligner que la variable de la main d'œuvre est fortement liée à une seconde variable : le mode de production.

Le mode de production

Les traitements chimiques sont proscrits du mode de production en AB. Ceci entraine:

- Des passages qui concernent uniquement le travail du sol et la fertilisation organique.

Un mode de production en AB impose ainsi des opérations qui prennent du temps et qui sont difficilement fractionnables (fertilisation organique à base de fumier).C'est pourquoi on observe que les seuls systèmes de culture effectuant la majorité de leurs opérations potentielles en travail du sol et fertilisations organiques sont en AB, excepté un (AC9). Ce dernier est cependant à la limite de la classe avec 53% des opérations potentielles dédiées au travail du sol et fertilisation organique.

- Un nombre de passage potentiels plus faible qu'en AC

Les traitements chimiques représentent une part importante des interventions en AC (64% des passages potentiels), leur absence en AB fait donc considérablement diminuer le nombre de passages potentiellement effectués. Les opérations de travail du sol et de fertilisation organique, bien que plus présentes en AB qu'en AC (en moyenne 5,23 passages en AB contre 2,88 passages en AC), ne contrebalancent pas cette absence. C'est pourquoi on observe que les systèmes de culture en AB sont ceux qui présentent les nombres les plus faibles de passages potentiels (5,63 passages contre une moyenne générale de 7,50).

- Un faible nombre de passages optionnels

Nous remarquons que quatre des cinq exploitations en AB effectuent peu d'opérations optionnelles (1,78 contre 2,73 pour la moyenne de l'échantillon). Nous pouvons alors émettre deux hypothèses.

Avec un itinéraire technique déjà complexe du fait d'opérations majoritairement chronophages (travaux du sol et fertilisation), les agriculteurs peuvent chercher à simplifier leur itinéraire technique en effectuant au maximum des interventions systématiques.

La seconde hypothèse concerne un choix limité des moyens des luttes en AB. Tandis que les apports d'intrants chimiques sont peu chronophages et peuvent être répétés ou fractionnés plus facilement, les moyens de luttes en AB sont plus limités et moins facilement modulables. L'agriculteur en AC dispose de plusieurs options, chimiques ou mécaniques et peut s'adapter, ajuster les doses, compléter avec d'autres techniques, et leurs interventions sont donc plus propices à être optionnelles.

Du point de vue de l'itinéraire technique, seconde composante caractérisant le système de culture, l'échantillon se divise en trois groupes selon l'aspect chronophage et décisionnel des interventions. Le premier rassemble quatre systèmes de culture à l'itinéraire technique simple. Le second, groupe intermédiaire, réunis 10 systèmes de culture à l'itinéraire technique moyennement complexe. Enfin le dernier groupe, définit par un itinéraire technique complexe, concerne trois systèmes de culture.

Tout comme pour la rotation, ce sont à nouveau la main d'œuvre, le parcellaire et le mode de production qui peuvent influer sur les choix d'itinéraire technique des agriculteurs. Les exploitations en AB et ayant une main d'œuvre importante ont une part plus élevée de leurs opérations dédiées à des opérations chronophages mais effectuent moins de passages potentiels et moins de passages optionnels.

L'itinéraire technique aura également tendance à être simplifié avec moins de passages optionnels lorsque le parcellaire est complexe.

Suite aux typologies réalisées à partir des deux composantes du système de culture, la stratégie décisionnelle de l'agriculteur est la dernière composante à prendre en compte.

3.2.3. La stratégie décisionnelle : un élément clé de la conduite du système

3.2.3.1. Classification des agriculteurs selon leur stratégie de décision

Via l'analyse qualitative des entretiens

Nous avons pu distinguer trois groupes d'agriculteurs aux stratégies décisionnelles différentes.

- **Premier groupe : stratégie décisionnelle simple**

Ce groupe rassemble sept agriculteurs (AC1, AC2, AC3, AC4, AC6, AC8 et AC12) qui se réfèrent quasi uniquement aux préconisations du conseiller.

(AC1 *: "Les techniciens sont au courant de tout. On a des conseillers il faut les écouter. C'est le technicien qui décide." ;* AC3 *: "C'est le technicien de la coop qui suit les parcelles depuis toujours. On lui fait confiance. Nous on ne connait pas grand-chose, c'est lui qui préconise.")*

Cependant ils adaptent le planning préétabli selon les conditions réelles:

- le climat (AC8: "*On est tributaire du temps.*")
- leur budget actuel *(*AC2 *: "Le conseiller fait un programme au début de l'année, après on le respecte ou pas selon le budget, les cultures et les conditions."),*
- les observations des cultures *(*AC6 *: "C'est programmé avec le conseiller en début de saison. Après ça change […], on s'adapte par rapport à la plante. Le programme d'aujourd'hui peut changer dans les 6 mois, on ne peut pas savoir ce qu'il va se passer l'année prochaine.")*
- l'environnement (AC1: "*Il faut savoir traiter par rapport au temps. Il faut traiter le matin ou le soir, pas quand il fait trop chaud et quand les insectes auxiliaires comme les abeilles ne butinent plus.[…] Il faut surveiller les cultures.*")

Leur système évolue en général peu et ils ont plus une optique de simplification.

(AC3 : *"Tout est resté toujours plus ou moins pareil"* ; AC4 *:"On est dans un système où on fait des choses simples, simplement"* ; AC6 *: "Quand on est habitué et que ça fonctionne bien, on ne cherche pas à comprendre. […] Pourquoi changer un rythme de croisière qui fonctionne bien ? Pourquoi se compliquer la vie ?"*).

- **Deuxième groupe : une stratégie décisionnelle moyennement complexe**

Ce groupe rassemble cinq agriculteurs (AC5, AC7, AC9, AC10 et AC11) qui se réfèrent aux préconisations du conseiller mais adaptent le planning préétabli aux conditions réelles en se basant sur des observations régulières et leur propre raisonnement et connaissances. *(*AC10 : *"Déjà c'est par rapport aux observation sur les parcelles. C'est aussi par rapport à ce que j'ai l'habitude de faire et par rapport aux conseils du technicien."* ; AC9 : *"Je fais en fonction des avertissements, du programme établi avec un ou deux techniciens. Comme ça on a plusieurs avis, ce n'est pas plus mal. C'est très important de passer dans les parcelles, pour intervenir plus rapidement, et au bon moment. Je sais où il faut plus aller, on a nos points de repères, comme un GPS mais dans la tête.;*

AC5*: "C'est le technicien qui a dit ça, alors on l'écoute, c'est fait pour ça ! […] Je connais mes parcelles. Celles où on sait qu'il n'y a pas tel type de mauvaises herbes on ne va pas mettre le produit. Mais on fait un tour de parcelle avant, c'est visuel.")*

En effet, leur système est réfléchi et maîtrisé et les raisons et modalités de chaque intervention sont expliquées. (AC7: *"L'apport est fractionné en 2 passages. Pas en 3 car l'orge derrière n'a pas besoin de protéine et faire 3 apports n'apporte rien car l'orge est une culture un peu moins gourmande, et ça feraient commencer le 1er plus tôt et ça le ferait verser plus."*)

Leur système est notamment en général bien calé, néanmoins les agriculteurs de ce groupe ont tendance à tester de nouvelles pratiques. (AC7:*"Notre système n'est pas figé. Il n'y a que les imbéciles qui ne changent pas d'avis !"* ; AC11*: "On a essayé pleins de trucs."*)

Les enquêtés sont des personnes qui aiment se renseigner via diverses sources : technicien, lettre d'avertissement, réseau et groupement agricole, CETA, revues, échanges entre collègues, internet (seulement un peu, pour l'un d'entre eux) (AC9*: "On n'est jamais assez renseignés."*).

- **Troisième groupe : une stratégie décisionnelle complexe**

Ce dernier groupe (AB1, AB2, AB3, AB4 et AB5) rassemble tous les agriculteurs en AB de l'échantillon. Il diffère des autres par le fait que les exploitants se réfèrent davantage à leurs observations en temps réel et leurs propres connaissances que sur les préconisations du technicien pour intervenir. (AB1: *"Il faut surveiller. […] Maintenant on simplifie tout et le bon sens paysan on est en train de le perdre."* ; AB2: *"C'est le feeling paysan !"* ; AB3: *"Il faut aller voir son Maïs tous les deux ou trois jours quand il est semé […]."* ; AB4 *"Il y a l'habitude aussi, l'expérience."*).

Leur système est en constante évolution, réfléchi et modulé et nécessite de la réactivité. (AB5: *"L'AB demande beaucoup plus de réactivité que l'agriculture conventionnelle. La fenêtre d'intervention est beaucoup plus courte. Et nous on doit tout tester alors que les conventionnels appliquent un protocole tout réglé."* ; AB4: *"C'est variable, il n'y a pas de règles."*).

On observe également qu'aucune exploitation de ce groupe ne donne de priorité à l'élevage.
(AB1: *"Je pense qu'il faut un équilibre végétal – animal pour que l'exploitation fonctionne bien." ;* AB2: *"On met autant la priorité sur l'activité bovins viandes qu'aux cultures."*).
En revanche, ces cinq agriculteurs attachent beaucoup d'importance à la gestion des prairies.
(AB1: *"C'est le pâturage qui permet d'être efficace."*; AB5*: "Pour moi pour pouvoir passer en AB il fallait déjà maîtriser les prairies. […] Les prairies il faut être patient, c'est la clef en AB."*).

Enfin, ils se renseignent beaucoup (technicien, groupement, internet, revues…) et appartiennent à des groupements spécialisés en AB, principalement les CETA (AB1: "*J'appartient à un CETA. C'est neutre, il y a une dizaine d'ingénieurs. Parmi les 24 groupes en lait, il n'y a qu'un seul groupe en AB, depuis 15 ans. On est environ 18 – 19 agriculteurs, c'est le meilleur."* ; AB5*: "C'est la confrontation des différents points de vue qui est enrichissante."*).

L'analyse quantitative

Suite à l'analyse quantitative de la stratégie décisionnelle pour la conduite du Blé, nous n'avons pas pu établir de résultats. Nous n'avons donc pas poursuivi avec l'analyse au niveau du système de culture. En effet, il est difficile d'arriver à des conclusions de cette manière, car la façon dont l'agriculteur décide ses interventions est difficilement quantifiable, notamment du fait que tous les critères utilisés ne sont pas toujours mentionnés pour chaque opération par l'agriculteur. L'analyse quantitative ne reflétait pas la manière dont l'agriculteur raisonne son système. Concernant la quantification des critères de décisions par opérations, nous pouvons cependant observer une tendance. Moins la stratégie décisionnelle est complexe, plus elle requiert de critères de décision. On peut supposer qu'avoir recours à un planning établi avec le technicien en début de saison nécessite plus de paramètres prédéfinis pour déclencher une opération, tandis qu'avoir recours à des observations est plus approximatif et impliquent moins de paramètres. En revanche, nous n'avons pu établir aucune tendance concernant les sources d'informations mobilisées par les agriculteurs.

3.2.3.2. Les opérations optionnelles: une autre variable caractérisant la complexité de la prise de décision

(Cf. Annexe 19)

Nous pouvons observer un lien entre la complexité de la stratégie décisionnelle et le nombre de passage optionnels. Ainsi plus la stratégie est complexe, plus le nombre de passages optionnels a tendance à être faible. Malgré tout, ce lien reste faible (corrélation à -0,41). Il se vérifie pour le groupe d'agriculteurs dont la stratégie décisionnelle est complexe : sur ces cinq agriculteurs, quatre présentent les nombre de passages optionnels les plus faibles de l'échantillon (en moyenne 1,78 contre 2,73). A noter que ces agriculteurs sont en AB (Cf. § **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** p54). La complexité de la stratégie décisionnelle ne se traduit donc pas par l'aspect optionnel des opérations mais concerne le niveau plus général de la conduite du système de culture.

3.2.3.3. Les raisons expliquant les stratégies décisionnelles des agriculteurs

(Cf. Annexe 20)

La disponibilité des ressources productives

Nous pouvons observer des corrélations entre la complexité de la stratégie décisionnelle et le nombre d'UTH (0,59), ainsi que la disponibilité du matériel (0,43). Ainsi, les exploitations ayant une stratégie décisionnelle plus complexe auraient tendance à disposer de plus de main d'œuvre et de matériel plus facilement. En effet, les exploitations à la stratégie décisionnelle complexe disposent d'en moyenne 2,76 UTH contre 1,79 pour celle à la stratégie peu complexe. Cependant, ramené à la SAU, ce lien est beaucoup plus faible (0,26), cette corrélation est donc peu pertinente.

Concernant la disponibilité du matériel, nous pouvons voir que les agriculteurs ayant une stratégie décisionnelle peu complexe ont tendance à avoir plus de matériel en propre que les autres. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces mêmes exploitations effectuent également plus d'opérations optionnelles que les autres. Or ces dernières nécessitent une certaine réactivité de l'agriculteur, qui peut être entravée lorsque le matériel est en commun et donc pas toujours disponible
(AB5 : "*Il y a une concurrence avec les agriculteurs de la CUMA, il faut anticiper[…]*.").
Cependant posséder la majorité de son matériel en propre peut également relever d'autre raisons:

- La volonté de minimiser les charges (AC3: "*Ça ne sert à rien d'être trop équipé. Il faut un minimum mais ça ne sert à rien d'investir dans trop de matériel performant.*").
- Le désir d'autonomie (AC9:"*On est autonome, la CUMA c'est juste un appoint."*).
- La priorité donné à l'élevage (AC2: " *On n'est pas à la CUMA, on fait appel à une ETA. On passe plus de temps dans les porcheries […]*.").
- Un attrait pour le matériel (AC6: "*On est équipé en matériel. C'est mon dada, c'est un plaisir. Pour moi un agriculteur qui n'a pas de matériel ce n''est pas un agriculteur.")*.

Les objectifs généraux des agriculteurs

Nous pouvons regrouper la diversité des objectifs en quatre catégories différentes :

- La catégorie production : elle regroupe trois types d'objectifs : la volonté d'augmenter sa production, de la laisser telle qu'elle est et la diminuer.
- La catégorie temps de travail : elle rassemble des objectifs de diminution de ce dernier, de répartition de sorte à donner la priorité aux cultures ou à l'élevage, ou encore de l'écourter pour prévoir prendre sa retraite dans un nombre d'années défini.
- La catégorie pénibilité de travail, qui concerne des objectifs visant à alléger cette dernière, via l'automatisation des tâches.
- Une catégorie regroupant d'autres objectifs divers, tels que la notion de plaisir au travail, d'atteinte de la retraite, de dépenses minimales ou encore de maintient d'une exploitation propre à cause des habitations autour.

Nous n'observons aucun lien entre les objectifs généraux des agriculteurs et leur choix de système de culture. En revanche, nous pouvons distinguer des similitudes aux niveaux des objectifs généraux chez les agriculteurs faisant partie du même groupe de complexité de stratégie décisionnelle. En effet, nous pouvons remarquer la présence chez les agriculteurs à la stratégie décisionnelle complexe la notion de recherche de plaisir dans le travail, mais également de désir d'autonomie, sans toutefois perdre celle de rentabilité (AB2 : "*L'autonomie alimentaire c'est quelque chose qui nous tient vraiment à cœur." ;* AB5 : *"Notre objectif est d'avoir un revenu décent et un point d'équilibre avec se faire plaisir, être heureux, être soi – même.").*

De même nous pouvons remarquer que cinq des six agriculteurs de l'échantillon ayant une optique de simplification de leur système (AC2, AC3, AC4, AC6 et AB1) font partie du groupe à la stratégie décisionnelle peu complexe (soit 71% des agriculteurs de ce groupe). Seul AB1 souhaite maintenir un système simple et fait partie du groupe à la stratégie décisionnelle complexe

L'échantillon se divise en trois groupes distincts aux stratégies décisionnelles plus ou moins complexes. La complexité de ces dernières ne se traduit pas par l'aspect optionnel des opérations mais concerne la conduite globale du système de culture. Les groupes se différencient sur la base de plusieurs critères: la fréquence des observations sur les parcelles, la diversité des sources d'informations et de conseil, l'importance du recours aux conseils du technicien par rapport à leur connaissances personnelles et leur propre logique, l'adaptabilité et l'évolution de leur système, mais aussi l'équilibre entre la gestion de l'élevage et celle des cultures.

La disponibilité du matériel mais également les objectifs généraux des agriculteurs apparaissent comme des éléments conditionnant la stratégie décisionnelle des agriculteurs.

Après avoir caractérisé ces systèmes de cultures selon leurs trois composantes, il convient de mettre en relation ces résultats avec la typologie précédente rendant compte de l'efficacité des systèmes de cultures sur la régulation biologique, afin de voir si ceux qui y sont favorables sont complexes à mettre en œuvre.

3.3. Corrélation entre impact sur la régulation biologique des systèmes de culture et complexité de mise en œuvre (Cf. Tableau 10 p65)

3.3.1. Les systèmes de culture peu favorables à la régulation biologique

Nous remarquons que les systèmes de cultures peu favorables à la régulation biologique sont de faiblement à moyennement complexes à mettre en place, du point de vue des différentes composantes du système de cultures (rotation, itinéraire technique et stratégie décisionnelle). On note que deux fois plus de composantes sont dans la catégorie complexité faible que dans la catégorie complexité moyenne.

Les deux systèmes de cultures caractérisés comme très peu favorables à la régulation biologique sont quant à eux peu complexes à mettre en place et ce pour les trois composantes du système de culture, hormis pour la stratégie décisionnelle, moyennement complexe pour l'un d'entre eux (AC5).

Nous pouvons par ailleurs remarquer qu'au niveau de l'échantillon, la complexité de l'itinéraire technique est majoritairement faible (pour 59% des exploitations). Ceci peut s'expliquer par le fait que nous nous sommes basés uniquement sur l'aspect chronophage des opérations, sans prendre en compte l'aspect décisionnel via le nombre d'opérations optionnelles.

En effet la typologie basée sur les deux aspects de cette composante ne permet pas d'établir de corrélation avec la typologie des systèmes de cultures favorables à la régulation biologique. Nous choisissons donc de conserver les résultats permettant d'observer une corrélation. Cependant en se basant sur la typologie réalisée à partir de l'aspect à la fois chronophage et décisionnel des interventions, la complexité de l'itinéraire technique est majoritairement moyenne (pour 59% des exploitations de l'échantillon).

3.3.2. Les systèmes de culture favorables à la régulation biologique

Les systèmes de cultures favorables à la régulation biologique ont tendance à être moyennement à très complexe. On note que la majorité des composantes sont dans la catégorie complexité forte (11 contre 6 dans la catégorie complexité moyenne et 4 dans le catégorie complexité faible). Par ailleurs, l'itinéraire technique est majoritairement assimilé à une complexité moyenne (pour 57% des exploitations) tandis que la rotation et la stratégie décisionnelle sont majoritairement complexes (pour 71% des exploitations). Nous pouvons donc supposer que la complexification des systèmes de cultures plus favorables à la régulation biologique est majoritairement due à la rotation et la stratégie décisionnelle.

Les deux exploitations en AC de ce groupe ont cependant un système de culture plus simple à mettre en place, avec un itinéraire technique peu complexe, une stratégie décisionnelle peu à moyennement complexe et une rotation moyennement complexe pour AC9 mais très complexe AC12.
A l'inverse les exploitations en AB ont toutes des systèmes de cultures complexes avec une stratégie décisionnelle complexe, un itinéraire technique moyennement à très complexe et une rotation très complexe, hormis pour AB1 à la rotation simple (maïs - blé - dérobé colza - prairie).
Notons qu'AB2, ayant une abondance en carabes plus élevée que les autres systèmes de son sous - groupe (90,2 pour une moyenne de groupe à 75,86) et une richesse spécifique importante (10 pour une moyenne de groupe à 8,36), est le système de culture le plus complexe à mettre en œuvre car les trois composantes sont assimilées à une complexité forte. L'itinéraire technique est le seul de l'échantillon a être complexe, du fait d'un nombre élevé de passages potentiels combiné à une majorité d'opérations chronophages (travail du sol et fertilisation organique).
En revanche, le système de culture caractérisé comme très favorable à la régulation biologique (AB3) n'est pas plus complexe à mettre en œuvre que les autres systèmes en AB.

Nous pouvons donc dire que plus un système de culture est favorable à la régulation biologique, plus il a tendance à être complexe. Cependant, le facteur majeur qui augmente la complexité des systèmes est le fait d'être en AB, car deux systèmes de culture en AC favorables à la régulation biologique sont faiblement à moyennement complexes. Les systèmes de culture en AB ont donc un impact positif sur la régulation biologique mais sont complexes à mettre en place.

Tableau 10: Corrélation entre impact sur la régulation biologique et complexité de mise en œuvre des systèmes de cultures

	niveau de complexité	faible			moyenne			forte		
	Code agriculteurs / Composantes SdC	Rotation	Itinéraire technique	Stratégie décisionnelle	Rotation	Itinéraire technique	Stratégie décisionnelle	Rotation	Itinéraire technique	Stratégie décisionnelle
Système de culture très peu favorable à la régulation biologique	AC3	X	X	X						
	AC5	X	X				X			
Système de culture peu favorable à la régulation biologique	AC1		X	X	X					
	AC2		X	X	X					
	AC4	X	X	X						
	AC6	X	X	X						
	AC7	X	X				X			
	AC8	X		X		X				
	AC10		X		X		X			
	AC11				X	X	X			
Système de culture favorable à la régulation biologique	AC9		X		X		X			
	AC12		X	X				X		
	AB1	X				X				X
	AB2							X	X	X
	AB4					X		X		X
	AB5					X		X		X
Système de culture très favorable à la régulation biologique	AB3					X		X		X

3.4. Les raisons expliquant les choix des agriculteurs

(Cf. infra Tableau 11)

Nous avons pu constater au cours des analyses précédentes que les choix des agriculteurs étaient conditionnés par divers éléments. Globalement nous avons ainsi identifié quels étaient les raisons pouvant expliquer les choix des agriculteurs dans la réalisation de pratiques favorables à la régulation biologique au sein du système de culture et de la complexité de mise en œuvre de se ce dernier. Les divers éléments conditionnant ces choix sont de quatre types (Cf. infra Tableau 11):

- Les objectifs propres des agriculteurs, qu'ils soient de l'ordre global sur l'exploitation ou propre à l'efficacité attendue d'une pratique.
- La disponibilité des ressources productives, en matériel, main d'œuvre, parcellaire mais aussi en temps et en connaissances techniques.
- Le type de production en jeu
- Une catégorie "Autres" regroupant la contrainte du marché (débouchés des cultures) et des connaissances techniques requises

L'accès aux ressources productives et les objectifs de l'agriculteur, tant généraux que propres à une pratique spécifique, sont les principales facteurs explicatifs.

Tableau 11: Les éléments influençant les choix des agriculteurs

		pratiques favorables à la régulation biologique						Complexité du système de culture		
Facteurs explicatifs		DM	FO	TCS	mélange d'espèces	mélange variétal	Diversifi-cation et allonge-ment des rotations	Rotation	Itinéraire technique	Stratégie décisionnelle
Ressources productives	main d'œuvre							X	X	X
	temps	X		X	X					
	parcellaire						X	X	X	
	matériel	X			X		X			
Type de production	élevage		X				X			
	mode de production	NA	NA	NA	NA	NA	NA	X	X	
Objectifs	généraux	X				X	X			X
	spécifiques	X	X	X	X		X			
Autres	marché						X			
	connaissances techniques			X						

Légende:

DM = Désherbage mécanique FO = Fertilisation Organique

TCS = Techniques Culturales Simplifiées

NA = Non - Applicable : Le mode de production ne peut pas être cité par les agriculteurs comme un frein à une pratique dans la mesure où ces derniers répondent par rapport à leur système actuel.

PARTIE IV: DISCUSSION

Suite aux résultats, nous pouvons revenir sur la méthodologie d'étude et en discuter certains points, qui auraient pu être améliorés.

La non - prise en compte d'éléments

Afin d'identifier les systèmes de culture favorables à la régulation biologique, nous nous sommes basés sur les mesures 2014 d'abondance et de richesse spécifique en carabes, mais nous n'avons pas pris en compte les mesures de prédation. En effet, ces dernières étaient qualitatives et de ce fait plus difficilement analysables. Cependant, avec plus de temps nous aurions pu les prendre en compte car la présence d'auxiliaires de culture ne conduit pas forcément toujours à une meilleure prédation.

Par ailleurs, la disponibilité de la main d'œuvre en temps que ressource productive a été calculée en fonction de la SAU mais pas en fonction de l'UGB. En effet, il était compliqué de calculer l'UGB des exploitations enquêtées devant la diversité de leur élevage: porcin, bovin lait, bovin viande, caprin, porcin, volailles. Après une tentative de calcul de cet indicateur via les tables de l'Institut de l'élevage et du SCEES[1], il est apparu que les résultats d'UGB pour les porcins étaient bien supérieurs aux bovins, ce qui compromettait la comparaison entre les exploitations. Notre but étant d'évaluer si la disponibilité en main d'œuvre compte - tenu de la charge de travail associée au troupeau influe sur la complexité du système de culture, il conviendrait de prendre en compte non pas le nombre d'UGB en lui - même mais la charge de travail associé à 1 UGB. Cependant, si cette donnée est disponible pour l'élevage bovin, elle est récente pour l'élevage porcin. Quelques publications abordent cette notion, mais l'évaluation de cet indicateur est complexe. Temps de travail en heures par semaine, par an, raisonné par truie, par tranche de100 truies ou encore par kilos de carcasse ou par porc produit afin de prendre en compte la performance technique (Lebas, 2002 ; Leborgne et Quentric, 2002 ; Le Moan et al., 2003), très variable d'un système d'élevage à l'autre selon son équipements, la taille du cheptel et ses pratiques (Martel et al., 2012).

N'étant pas le sujet central de cette étude, nous avons choisi d'uniquement prendre en compte la disponibilité en main d'œuvre en fonction de la SAU.

Lors de cette étude, nous avons effectué une analyse de la stratégie décisionnelle globale et qualitative. Nous n'avons pas pris en compte l'analyse quantitative car elle ne semblait pas pertinente du fait que nous n'ayons pas pu récolter toutes les informations relatives à cette composante. En effet, la caractérisation de la stratégie décisionnelle n'était pas l'unique problématique du sujet et nous n'avons pas pu récolter exhaustivement tous les critères de décisions, les seuils d'intervention et leur moyens d'obtention et ce pour toutes les opérations. Cette notion mériterait une étude à part entière pour être traitée de manière complète.

[1] Service Central des Enquêtes et Études statistiques

Avec davantage de temps, nous aurions pu retourner voir quelques agriculteurs pour s'entretenir avec eux uniquement de leurs règles de décision. Analyser la stratégie décisionnelle seulement pour un nombre défini de pratiques (par exemple fertilisation et traitements phytosanitaires) ou pour une seule culture pourrait également être une façon de faire.

L'échantillon

Concernant l'analyse de la disponibilité des ressources productives comme facteur explicatif des choix des agriculteurs, il paraît important de souligner qu'avec 17 enquêtés, l'échantillon est faible. Par conséquent les corrélations ne sont pas forcément significatives et ne trouvent pas toujours d'explication. Par exemple, concernant la relation entre parcellaire et sous - traitance, nous ne pouvons pas affirmer l'hypothèse selon laquelle les agriculteurs disposant d'un parcellaire plus simple sous - traient plus que les autres (Cf. § 3.2.2.3 p55). Ce point mériterait d'être exploré en augmentant l'effectif de l'échantillon et en s'enquérant de la question auprès des agriculteurs

L'analyse à dire d'expert

Lors de la caractérisation des systèmes de cultures et de leur complexité de mise en place, nous avons choisi pour chacune des trois composantes des variables, des pondérations et des classes. Ces choix relèvent de nos connaissances au vu de la bibliographie effectuée, des données de l'échantillon et des valeurs références sur lesquelles nous avons pu nous appuyer (ex: IFT moyen Blé Bretagne). Cependant, elles peuvent être discutables et légèrement différer d'un analyste à l'autre. Nous aurions pu, avec davantage de temps, effectuer une analyse de sensibilité, afin d'examiner la variation possible des résultats et identifier à quels paramètres de pondération et de classification la typologie est plus ou moins sensible.

Un projet à long terme

Cette étude s'inscrit dans un projet avec un suivi à long terme et a débutée cette année. Par conséquent, les typologies effectuées sont des typologies moyennes sur une année pouvant subir des variations dans leur mise en place réelle. C'est pourquoi elles devront par la suite être confirmés ou infirmés par les données des années suivantes. Nous pouvons par exemple mentionner les traitements phytosanitaires, dont nous n'avons pas pu recueillir les pratiques pour toutes les cultures mais seulement pour celle en place sur la parcelle de suivi 2014. Nous pouvons alors difficilement caractériser la stratégie phytosanitaire générale de l'agriculteur. De même l'aspect favorable des systèmes de cultures sur la régulation biologique est à confirmer selon les analyses des années suivantes, l'effet année pouvant jouer sur les résultats actuels.

PARTIE V: CONCLUSION

Bilan de l'étude: synthèse des résultats et ouverture

L'objectif de cette étude était de caractériser les systèmes de culture favorables à la régulation biologique et d'en évaluer leur complexité de mise en œuvre.

Nous avons ainsi pu identifier parmi l'échantillon d'exploitations enquêtées différents groupes de systèmes de cultures plus ou moins favorables à la régulation biologiques. Nous les avons par la suite caractérisés selon trois composantes du système de culture que sont la rotation, l'itinéraire technique et la stratégie décisionnelle, afin d'évaluer leur complexité de mise en œuvre.

Les systèmes de cultures favorables à la régulation biologique sont majoritairement en AB, traduisant l'impact favorable de l'absence d'intrants chimiques, compensé par une diversité de pratiques alternatives. Leur abondance et richesse spécifique en carabes sont élevées et les pratiques à priori favorables à la régulation biologique sont fortement présentes au sein de ces systèmes de culture. Une rotation longue et de nombreux mélange d'espèces et de variétés apparaissent comme des pratiques ayant un effet particulièrement positif. Quelques systèmes de culture en AC sont également favorables à la régulation biologique et se distinguent par une rotation diversifiée, un fort recours à la fertilisation organique, un faible recours aux intrants chimique et un nombre élevé de variétés par culture, soulignant l'impact particulièrement important de ces pratiques sur la régulation biologique. Ceci est en accord avec la bibliographie et confirme bien l'hypothèse selon laquelle les systèmes de cultures favorables à la régulation biologique sont des systèmes ayant tendance à remplacer l'usage des produits phytosanitaires via une combinaison de pratiques.

Le paysage a aussi sont rôle à jouer et sa diversité influence positivement la régulation biologique.

Ces systèmes de culture s'avèrent plus complexes à mettre en place que les autres, en particulier du point de vue de la rotation et de la stratégie décisionnelle. Mais cette complexité est surtout due au mode de production, les systèmes en AC favorables à la régulation biologique étant plus simples à mettre en œuvre que ceux en AB. La rotation est complexifiée du fait d'un nombre de cultures important (7,5 différentes en moyenne) comprenant des mélanges multi-espèces et d'une durée de rotation longue (4,6 années cultivées).

La stratégie décisionnelle est complexe du fait que les interventions soient basées davantage sur des observations en temps réel et les connaissances propres des agriculteurs que sur un planning défini à l'avance sur les préconisations du technicien. Les exploitants remettent régulièrement en cause leur système, ce dernier étant alors et en constante évolution et nécessitant de la réactivité. Les agriculteurs se renseignent beaucoup via diverses sources et appartiennent à des groupements spécialisés en AB. L'hypothèse 2 selon laquelle les systèmes de culture favorables à la régulation biologiques sont basés sur plus d'observations et nécessitent plus de réactivité de la part de l'agriculteur est donc validée.

Cependant cette hypothèse amenait également l'idée que ces systèmes effectuaient moins d'interventions systématiques que les autres, ce qui ne se vérifie pas dans les résultats car les exploitations en AB effectuent peu de passages optionnels.

Différentes raisons peuvent expliquer les choix des agriculteurs, en influant sur la mise en place de pratiques favorables à la régulation biologique ou la complexité de mise en œuvre du système de culture. Les divers éléments conditionnant ces choix sont de quatre types (Cf. supra Tableau 11):

- Les objectifs propres des agriculteurs, qu'ils soient de l'ordre global sur l'exploitation ou propre à l'efficacité attendue d'une pratique.
- La disponibilité des ressources productives, en matériel, main d'œuvre, parcellaire mais aussi en temps et en connaissances techniques.
- Le type de production en jeu
- La contrainte du marché (débouchés des cultures) et des connaissances techniques requises

L'accès aux ressources productives et les objectifs de l'agriculteur, tant généraux que propres à une pratique spécifique, sont les principales raisons expliquant leurs choix.

Au regard de l'enjeu de départ de réduction des intrants chimiques, il apparaissait important de traiter la question de la régulation biologique par conservation comme service d'intérêt pour l'agriculture. Les résultats le démontrent, une diversité de systèmes de culture peut avoir un impact favorable sur la régulation biologique. C'est pourquoi les caractériser permettra à terme de mieux comprendre les déterminants de ce service écosystémique et ainsi favoriser sa prise en compte. Cependant il ne s'agit pas d'agir sur un seul levier et pallier la diminution du recours aux produits phytosanitaires implique une combinaison de pratiques à l'échelle de la parcelle jusqu'à celle du paysage, qui s'inscrivent dans une stratégie à long terme. Il convient de raisonner tout son système, de reconsidérer ses logiques d'action. C'est pourquoi il est nécessaire d'analyser les possibilités de mise en œuvre de telles pratiques en prenant en compte l'ensemble du système de l'agriculteur et les règles de décisions qui le régissent sur des pas de temps longs. Pourtant, encore beaucoup d'études s'attardent sur de courtes échelles de temps et d'espace. Raisonner à de plus larges niveaux en prenant en compte les raisons à l'origine des choix des agriculteurs permettrait pourtant de répondre aux enjeux actuels en plus grande adéquation avec les conditions réelles.

Bilan personnel et retour sur le métier d'ingénieur

Cette expérience de six mois en tant que stagiaire au sein de l'INRA SAD Paysage de Rennes m'a permis de me plonger dans les conditions réelles du métier d'ingénieur, et d'avoir une expérience au plus près des attentes en situation professionnelle. Ayant précédemment effectué des stages plus en interaction avec le monde agricole (association de producteurs, chambre d'agriculture) ce dernier stage avant la vie professionnelle était l'occasion de s'immerger dans une tout autre approche de l'agriculture qu'est la recherche.

Ce stage de recherche m'a permis de mettre en pratique les compétences acquises durant ces cinq années de formation, notamment l'autonomie, la rigueur et la capacité d'adaptation. Il a également illustré la capacité de l'ingénieur à être source d'innovation et de progrès. La recherche a en effet pour but d'encore et toujours améliorer les pratiques actuelles et d'en tester diverses modalités.

Etre au cœur de ce processus dans le but faire évoluer les pratiques actuelles est quelque chose d'à la fois essentiel et gratifiant. Le fait de toujours remettre en cause ses compétence et d'actualiser ses connaissances en fonction de l'évolution des savoirs est également quelque chose de requis pour le métier d'ingénieur et s'applique plus que jamais au domaine de la recherche, dont la remise en cause des savoirs est le fondement de base. La formation d'ingénieur nous a également appris à toujours avoir un sens critique et être capable d'expliquer nos décisions. Cette aptitude est notamment de rigueur dans les stages de recherche où chaque choix de l'étude doit être méticuleusement réfléchi, justifié et explicité. Etre ouvert aux autres disciplines est en outre une qualité requise pour l'ingénieur. Ce paramètre s'est particulièrement vérifié au cours de ce stage, mettant constamment en interaction agronomie, écologie, science du paysage mais aussi sociologie et politique. En effet, l'unité SAD-Paysage de l'INRA a la spécificité de mettre en relation activités agricoles, dynamiques du paysage et biodiversité. Pouvoir interagir avec des personnes de différentes disciplines a été quelque chose de très enrichissant et la confrontation des points de vue m'a permis d'avancer et d'adopter une vision plus globale des choses.

La recherche est donc un domaine des plus intéressants et source de nombreux bénéfices quant à nos compétences. Il est pour moi important de s'y faire une expérience au cours de notre formation car c'est un secteur essentiel à l'agronomie. Cependant, la recherche n'est pas un domaine dans lequel je souhaite évoluer pour la suite de ma carrière professionnelle. En effet, le rôle de l'ingénieur est de transmettre les techniques étudiées en amont, en rendant compte de leurs possibilités et limites en situations réelles, afin de pouvoir les mettre en place dans des cas concrets. Or la recherche n'est que faiblement en interaction directe avec le monde agricole, elle produit les connaissances mais ne les transmet pas vers les acteurs. Pourtant, diffuser et adapter les techniques innovantes aux conditions réelles est selon moi la clef de l'évolution des pratiques. Ainsi faire le lien entre les connaissances produites et les agriculteurs m'apparaît primordial et c'est pourquoi j'ai choisi le métier d'ingénieur agronome.

BIBLIOGRAPHIE

AAVIK Tsipe et al.. Mixed effects of organic farming and landscape complexity on farmland biodiversity and biological control potential across Europe.Journal of Applied Ecology, 2011, Vol. 48, n° 3, pp. 570–579.

AL HASSAN Diab et al.. Does the presence of grassy strips and landscape grain affect the spatial distribution of aphids and their carabid predators? Agricultural & Forest Entomology, 2013, Vol. 15, pp. 24-33.

AUBERTOT Jean Noël et al. Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires : Application aux systèmes de polyculture. 2011, 116 p.

AUBRY Christine, MICHEL-DOUNIAS Iabelle. Systèmes de cultures et décisions techniques dans l'exploitation agricole. In : L'agronomie aujourd'hui. Editions Quae. Versailles : s.n., 2006, pp. 57-75.

BARBIER Jean-marc, MOURET Jean-claude. Reconsidérer les formes d'appui aux agriculteurs: pour une agronomie de l'exploitation agricole.FaçSade. 2000, n° 5, pp. 4.

BAUDRY Jacques et al.. Temporal variability of connectivity in agricultural landscapes: do farming activities help? Landscape Ecology, 2003, Vol.18, pp. 303-314.

BENGTSSON Anne, AHNSTRÖM Johan, WEIBULL Ann-Christin. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. Journal of applied ecology, 2005, Volume 42, Issue 2, pp 261–269.

BIANCHI F J. J. A., BOOIJ C. J. H., TSCHARNTKE Teja. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control.Proceedings. Biological sciences / The Royal Society, 2006, Vol. 273, n° 1595, pp. 1715–27.

CER FRANCE. Résultats des exploitations agricoles d'Ille-et-Vilaine et du Morbihan, édition 2014. [en ligne]. Disponible sur : http://fr.calameo.com/read/00011046315ea2bbbd19b [Consulté le 6 juillet 2015].

CHAPLIN et al.. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. Ecology Letters, 2011,Vol. 14, pp. 922-932.

CHAUVEL Bruno, BIJU-DUVAL Luc, JOUY Lionel. Gestion des populations de vulpins résistants: Quelles possibilités offrent les pratiques culturales ? : Lutte contre les mauvaises herbes. Phytoma : La Défense des végétaux, 2001, n° 544, pp. 30–34.

CHEN Yolanda H., WELTER Stephen C. Crop domestication disrupts a native tritrophic interaction associated with the sunflower, Helianthus annuus (Asterales: Asteraceae).Ecological Entomology, 2005, Vol. 30, n° 6, pp.

CULLEN Ross, SANDHU Harpinder S., WRATTEN Stephen D. The role of supporting ecosystem services in conventional and organic arable farmland.Ecological Complexity, 2010, Vol. 7, n° 3, pp. 302–310.

DELOS Marc, EYCHENNE Nathalie, FOLCHER L., DEBAEKE P., LAPORTE F., RAULIC I., MAUMENÉ Claude, NAIBO Bernard, PINOCHET Xavier. Les méthodes alternatives pour lutter contre les maladies en grandes cultures. Phytoma-La Défense des végétaux, 2004, n° 567, pp. 14–18.

DELOS M, GRAN-AYMERICH L, GUICHARD L, JOUY L, MUNIER N, PLEYBER E, REAU R. Solutions agronomiques limitant le recours aux herbicides. [en ligne]. S.l. : Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 2006, 41 p. Disponible sur : http://www.phyteauvergne.fr/IMG/Conseils_agri/79 - memoire_gran_aymerich_fiches.pdf

DENYS Christine, TSCHARNTKE Teja. Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strips, adjacent crop fields, and fallows.Oecologia, 2002, Vol. 130, n° 2, pp. 315–324.

DORÉ Thierry. Partie I: Itinéraire technique, système de culture: de la compréhension du fonctionnement du champ cultivé à l'évolution des pratiques agricoles. In : L'agronomie aujourd'hui. Editions Quæ. Versailles : Collection Synthèses, 2006, pp. 33-98. ISBN 2-7592-0000-0.

EILENBERG J., HAJEK A., LOMER C. Suggestions for unifying the terminology in biological control.BioControl, 2001, Vol. 46, n° 4, pp. 387–400.

ESCo INRA [a]. Les effets de l'agriculture sur la biodiversité, chapitre 1.Interactions, 2008, 139 p.

ESCo INRA [b]. Agriculture et biodiversité. Valoriser les syngeries. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport - 2ème partie.2008, 113 p.

ESCo INRA - CEMAGREF. Pesticides, agriculture et environnement: Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. 2005, pp. 134.

FREDON AUVERGNE. Etude bibliographique des solutions techniques et agronomiques permettant de réduire l'usage de produits phytosanitaires en grandes cultures. [en ligne]. Disponible sur : http://www.phyteauvergne.fr/IMG/html/Techniques_alt_agro/Fiches_techniques.htm#_Toc176148989 [Consulté le 15 juin 2015].

FRÉMAUX Ninon. Effets du mode de production et du paysage sur la régulation biologique des bioagresseurs en systèmes de polyculture-élevage bretons. Mémoire d'ingénieur en Gestion Intégrée des Agro-écosystèmes et des Paysages. Bordeaux : Ecole nationale supérieure des sciences agronomiques de Bordeaux Aquitaine, 2014, 126 p.

GARRATT M.P.D., WRIGHT D J., LEATHER S.R. The effects of farming system and fertilisers on pests and natural enemies: A synthesis of current research.Agriculture, Ecosystems & Environment, 2011, Vol. 141, n° 3-4, pp. 261–270.

HARIVELO RAVAOMANARIVO Lala. Rôle dans la régulation des ravageurs : la lutte biologique. UVED, 2014 [en ligne]. Disponible sur : http://www.supagro.fr/ress-pepites/processusecologiques/co/PP_LutteBiol.html [consulté le 21/01/2015]

KRAUSS Jochen, GALLENBERGER Iris, STEFFAN-DEWENTER Ingolf. Decreased functional diversity and biological pest control in conventional compared to organic crop fields.PloS one, 2011, Vol. 6, n° 5, pp. 9.

LAMONDIA James A., ELMER Wade H., MERVOSH Todd L., COWLES Richard S. Integrated management of strawberry pests by rotation and intercropping.Crop Protection, 2002, Vol. 21, n° 9, pp. 837-846.

LANDAIS Etienne, DEFFONTAINES Jean-Pierre, MARC Benoit. Les pratiques des agriculteurs Point de vue sur un nouveau courant de la recherche agronomique.Etudes rurales. 1988, n° 109, pp. 125-158.

LEBAS Denis. Comment travailler moins et mieux.Porc magazine. 2002, n° 360, pp. 34-45.
LEBORGNE Michel, QUENTRIC Olivier. Temps de travail: une meilleure efficacité.Atout Porc Bretagne. 2002, pp. 30-32.

LEBORGNE Michel, QUENTRIC Olivier. Temps de travail: une meilleure efficacité.Atout Porc Bretagne. 2002, pp. 30-32.

LE MOAN Laetitia et al.. Temps de travail en élevage porcin, programme porcherie verte, action Ac-11g. S.l. : s.n., 2003, 1-42 p.

LETOURNEAU Deborah K. et al.. Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review.Ecological Applications, [en ligne]. 2011, Vol. 21, n° 1, pp. 9-21.Disponible sur : 10.1890/09-2026.1 ISSN 10510761.

LOHAUS Katharina, VIDAL Stefan, THIES Carsten. Farming practices change food web structures in cereal aphid–parasitoid–hyperparasitoid communities. Oecologia, 2013, Vol. 171, pp. 249–259.

MACFADYEN Sarina et al.. Do differences in food web structures between organic and conventional farms affect the ecosystem service of pest control? Ecology Letters, 2009, Vol. 12, pp. 229-238.

MARTEL G., DEPOUDENT C., ROGUET C., GALLOT S., PINEAU C. Le travail des éleveurs avicoles et porcins une grande diversité de stratégies, d'attentes, de durée et de productivité.Productions Animales, 2012, Vol. 25, n° 2, pp. 113-126. ISSN 09900632.

NAYLOR Rosamoind L., EHRLICH Paul R. Natural pest Control Services and agriculture. In : Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems. [en ligne]. IPM Worlded. Saint Paul : s.n., 2003, pp. 151 – 169. Disponible sur : http://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=QYJSziDfTjEC&pgis=1 [Consulté le 17 F évrier 2015].ISBN 1597267759.

ÖSTMAN Örjan, EKBOM Barbara, BENGTSSON Janne. Landscape heterogeneity and farming practice influence biological control. Basic and Applied Ecology. 2001, Vol. 2, n° 4, pp. 365-371.

ÖSTMAN Örjan, EKBOM Barbara, BENGTSSON Janne. Yield increase attributable to aphid predation by ground-living polyphagous natural enemies in spring barley in Sweden. Ecological Economics. 2003, Vol. 45, n° 1, pp. 149-158.

PAIN Guillaume. Biodiversité dans les agroécosystèmes. Cours IM2AGR, ESA. Unité Paysage & écologie Agrocampus ouest, 2014.

PETIT S. et al.. Weed dispersal by farming activities across spatial scales. 2013, Agronomy for Sustainable Development, 2013, Vol. 33, pp. 205-217.

PUECH Camille. Hétérogénéité des pratiques agricoles biologiques et conventionnelles dans les paysages bretons : effets sur les communautés d ' insectes auxiliaires à différentes échelles Thèse soutenue à Rennes. S.l. : Université de Rennes 1, 2014, 216 p.

PURTAUF Tobias, DAUBER Jens, WOLTERS Volkmar. The response of carabids to landscape simplification differs between trophic groups. Oecologia, 2005, Vol. 142, pp. 458–464.

RAWORTH D.A, ROBERTSON M.C, BITTMAN S. Effects of dairy slurry application on carabid beetles in tall fescue, British Columbia, Canada.Agriculture, Ecosystems & Environment, 2004, Vol. 103, n° 3, pp. 527-534.

SWINTON Scott M., LUPI Frank, ROBERTSON G. Philip, HAMILTON Stephen K. Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits.Ecological Economics, 2007, Vol. 64, n° 2, pp. 245–252.

THIES Carsten, ROSCHEWITZ Indra, TSCHARNTKE Teja. The landscape context of cereal aphid-parasitoid interactions.Proceedings of the Royal Society Biological sciences, 2005, Vol. 272, n° 1559, pp. 203–210.

TSCHARNTKE Teja et al..Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management.Ecology Letters, 2005, Vol. 8, n° 8, pp. 857–874.

TSCHARNTKE Teja et al.. Landscape moderation of biodiversity patterns and processes - eight hypotheses.Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society, 2012, Vol. 87, n° 3, pp. 661-685.

VILICH-MELLER Vivian. Mixed Cropping of Cereals to Suppress Plant Diseases and Omit Pesticide Applications.Biological Agriculture & Horticulture, 1992, Vol. 8, n° 4, pp. 299–308.

WEIBULL Ann-Christin, ÖSTMAN Örjan, GRANQVIST Åsa. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management.Biodiversity & Conservation. 2003, Vol. 12, n° 7, pp. 1335-1355.

WILBY Andrew, THOMAS Matthew B. Natural enemy diversity and pest control: patterns of pest emergence with agricultural intensification.Ecology Letters, 2002, Vol. 5, n° 3, pp. 353–360.

ZHANG Wei, RICKETTS Taylor H., KREMEN Claire, CARNEY Karen, SWINTON Scott M. Ecosystem services and dis-services to agriculture.Ecological Economics, 2007, Vol. 64, n° 2, pp. 253–260.

BRETIN Lucile

ANNEXES MFE

Table des annexes

Annexe 1. Le guide d'entretien

Annexe 2. Fiche de synthèse type

Annexe 3. Caractérisation des exploitations de l'échantillon

Annexe 4. Les pratiques agricoles à priori favorables à la régulation biologiques

Annexe 5. Les ressources productives: trois variables

Annexe 6. Evaluation de la complexité des systèmes de cultures via le critère de l'assolement : six variables de complexités, deux classes

Annexe 7. Les résultats statistiques pour l'analyse de la complexité de la rotation : figures et graphiques

Annexe 8. Analyse quantitative de la stratégie décisionnelle: nombre et type de critère de décision et leur moyen d'obtention

Annexe 9. Les systèmes de cultures à priori favorables à la régulation biologique selon la bibliographie

Annexe 10. Verbatim des agriculteurs concernant les raisons de leurs choix de pratiques

Annexe 11. Les systèmes de cultures favorables à la régulation biologique basés sur les mesures 2014 d'abondance et de richesse spécifique en carabes

Annexe 12. Les tableaux de résultats pour le premier paramètre de complexité : la rotation

Annexe 13. Comparaison analyse statistique – analyse à dire d'expert pour la composante de la rotation

Annexe 14. L'analyse statistique pour évaluer d'éventuels corrélations entre complexité de la rotation et disponibilité des ressources productives

Annexe 15. Assolement d'exploitations types

Annexe 16. Les tableaux de résultats pour le deuxième paramètre de complexité : l'itinéraire technique, selon son aspect chronophage pour l'agriculteur

Annexe 17. Les résultats statistiques pour l'analyse de la complexité de l'itinéraire technique selon l'aspect chronophage des interventions: figures et graphiques

Annexe 18. Tableaux de résultats pour le deuxième paramètre de complexité : l'itinéraire technique, selon son aspect décisionnel

Annexe 19. L'analyse statistique pour évaluer d'éventuelles corrélations entre complexité de l'itinéraire technique et disponibilité des ressources productives

Annexe 20. L'analyse statistique pour évaluer d'éventuelles corrélations entre complexité de la stratégie décisionnelle et disponibilité des ressources productives

Annexe 1. Le guide d'entretien

Préambule

Je suis étudiante en école d'agronomie et effectue mon stage de fin d'année à l'INRA SAD – Paysage. Ces enquêtes sont effectuées dans le cadre du projet SEBIOPAG qui vise à comprendre les déterminants de la régulation biologique. Vous avez déjà dû effectuer une enquête sur vos pratiques au sein de la parcelle de suivi il y a peu. Cet entretien a pour but de caractériser plus globalement vos systèmes de culture en place sur l'exploitation et comment faites – vous pour les conduire.

Ce que l'on veut savoir : comment les agriculteurs prennent –ils leurs décisions, quels critères ils sélectionnent, quelle est la période optimale… Pour faire exprimer les règles de décisions aux agriculteurs, il faut faire varier les conditions via les questions qu'on pose afin qu'il exprime l'ensemble des alternatives qu'il se donne : selon les parcelles (Partout la même chose t ? Selon la localisation, type de sol,…), les conditions climatiques (Toujours la même chose ? en année humide, en année sèche,…) etc. Et si……alors que faites – vous ?

Caractéristiques générale de l'exploitation

- Nom Prénom :
- Sphère familiale :
- Statut Juridique :
- SAU :
- Cheptel :
- UTH :
- Mode de production :

Bref historique et présentation de l'exploitation

Date d'installation, EA familiale, évolutions récentes…

Partie I : le système de culture au niveau de l'exploitation agricole

Ce que l'on veut savoir : Comment s'organisent les systèmes de culture sur l'exploitation ? En quoi le niveau de l'EA contraint/favorise la mise en place du système de culture dans la parcelle étudiée ?

- **Objectifs et priorités de l'agriculteur**

- **Ressource productive :** *quelles sont les atouts et contraintes selon lui ? € CUMA,?*

- **Caractériser les différents SDC en place sur l'exploitation**
  - Parcellaire: *dispersé ? nombre d'ilot?*

Tableau 1: Tableau récapitulatif du parcellaire

Ilots	Surface, nombre parcelles, taille moy	Localisation/EA,	Cultures / rotation	Caractéristiques Pédoclimatique	Aménagement, enjeux particuliers
1					
2					
n					

- Description de/des rotations :*Combien de rotation en place ? % sur l'EA ? autres cultures ?*

- Comment choisit –il ses cultures (tableau):

Associations ? Abandon de certaines cultures ?
Difficultés principale (techniques, débouchés, bioagresseurs – taux de présence, sévérité dégâts…) ?

- Où les met - il*? Comment il détermine la surface allouée ? Localisation préférentielle/à éviter ?type de sol, enjeux particulier ?*

Tableau 2: Tableau récapitulatif de l'assolement sur l'exploitation

Culture	*Rendement*	*Délai retour (varie ?)*	*Précédent*	*Surface (ha)*	*Date d'insertion*	*Destination Raisons d'insertion*	*Difficultés principales*	*Signe de qualité, contrats…*
Culture 1								
Culture 2								
…								
Culture n								
Prairie temporaire								

- Variabilité de l'assolement ? *répartissez – vous toujours de la mm manière les ≠ cultures sur vos parcelles ?*

Selon les années ? les conditions climatiques ? le marché ? comment s'adapte – il ?

Partie II : Le système de culture mis en place sur la parcelle centrale

Ce que l'on veut savoir : comment prennent –ils leurs décisions, quels critères ils sélectionnent, quelle est la période optimale… Pour faire exprimer les règles de décisions aux agriculteurs, il faut faire varier les conditions via les questions qu'on pose afin qu'il exprime l'ensemble des alternatives qu'il se donne : selon les parcelles (Partout la même chose t ? Selon la localisation, type de sol,…), les conditions climatiques (Toujours la même chose ? en année humide, en année sèche,…) etc. Et si……alors que faites – vous ?

- **Caractériser le SDC en place sur la parcelle centrale (de suivi SEBIOPAG):** *Quelle rotation?*

- **Description des ITK**
  → Est – ce le même sur toutes les parcelles de ce SdC ? Pour toutes les rotations ? D'autres ITK ?

- Choix variétaux : *pourquoi ? depuis toujours ?*
- Gestion de l'interculture : *présence de couverts? Combien? Quel type? Pourquoi? Valorisation?*
- Travail du sol et semis :*méthode ? nbr intervention ? systématique ? partout ? pour ttes les cultures ?*
- Fertilisation : *nbr d'intervention ? varie ? systématique ou raisonné? orga, minérale ? partout ? dose fixe ? Seuil d'intervention*
- Traitement phyto : *nbre ? systématique ? partout ? dose fixe ? Seuil d'intervention*
- Désherbage : *nbr d'intervention ? systématique ? varie ? quel matériel ? partout ? Seuil d'intervention*
- Récolte *: matériel, date variables ? pour toutes les cultures ?*

Tableau 3: Tableau récapitulatif des modalité de l'itinéraire technique pour les différentes cultures

	Type	Dates	Nbr	Ttes les K?	Difficultés	Ttes les parcelles ?	Systéma-tique ?	Seuil d'intervention
Choix variétaux	Culture 1 : Culture 2 :							
Semis				Culture 1				
				Culture n				
Travail du sol				Culture 1 Culture … Culture n				
Fertilisa – tion				Culture 1 Culture … Culture n				
Traite – ments phyto				Culture 1 Culture … Culture n				
Dés – herbage				Culture 1 Culture … Culture n				
Récolte				Culture 1 Culture … Culture n				

Tableau 4: Calendrier de l'itinéraire technique des différentes cultures

Cultures	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
Culture 1												
Culture 2												
Culture n												

- Sources de variation : *selon les cultures, les années, les parcelles, les débouchés, le matériel disponible*

- Opérations les plus contraignantes ?

- Concurrence entre les opérations ? Comment s'adapter ?

- Sous – traitance ?

- Pratiques alternatives aux produits phytosanitaires (si dans ses objectifs) ?

- Achats extérieurs ?

➔ **Est – ce que via les SdC mis en place, on atteint les objectifs formulés au début ?**

Partie III : perspectives pour l'exploitation

- **A t –il l'intention de mettre en place de nouvelles pratiques/projets ?**

- **Si non, telle ou telle pratiques favorables à la régulation biologique/alternative aux intrants serait – elle envisageable de mettre en place dans son système ?**

- Associations d'espèces, de variétés, couvert en interculture
- Rotation plus longue et diversifiée
- Choix de variétés plus résistantes, rustiques, compétitives…
- Biofumigation
- TCS
- Déchaumage, faux semis
- Densité de semis, décalage date semis

- **Comment s'informe t –il ? conseil, groupement, voisins, revues…**

SYNTHESE

PHRASES CLEFS

Annexe 2. Fiche de synthèse type

➔ Synthèse abordant deux niveaux afin de caractériser dans la globalité l'exploitation et le système de culture (SdC) en place et les raisons qui le déterminent

I. Au niveau du système de culture

➢ La logique agronomique au niveau de la parcelle/SdC :
ses pratiques en tenant compte de son sol, du climat, en observant ses cultures

II. Au niveau de l'exploitation

➢ La logique de gestion de l'exploitation :
- La production
- Les contraintes de ressources (temps de travail, terres limitées),

(Ex: pas des sols favorables au Maïs mais obligation d'en produire pour nourrir ses animaux, beaucoup de travail avec l'élevage donc simplification des cultures…)

- Contraintes par rapport à la mise en place de pratiques non effectuées jusqu'alors.

III. Complexité du système

Mesurer la complexité de chacun :

➢ Au niveau de la rotation culturale :
Nombre de cultures, de rotations, de couverts interculturaux

➢ Parcellaire :
Distance de la parcelle la plus éloignée de la ferme, nombre d'ilots, surface moyenne d'un ilot, nombre de bloc de culture/culture, hétérogénéité des terres.

➢ Au niveau de l'ITK:
- SdC en place sur la parcelle SEBIOPAG,
- Nombre de passages systématiques et nombre de passages optionnels

Tableau 5: L'itinéraire technique en termes de nombre de passages pour chaque culture

	Travail sol		Fertilisation		Désherbage mécanique		Traitements chimiques		Total	
	Systém	Option.	Systém	Option.	Systématique	Optionnel	Systématique	Optionnel	S	O
K1										
Kn										
PT										

L = Labour, C = Cultivateur, CC = Cover-Crop, D = Déchaumage, R = Rouleau, B = Binage, Ch = Chimique, O = Organique, HE = Herse – Etrille, H = Houe rotative

➢ Sous – traitance :

➢ Stratégie décisionnelle
- Interventions systématiques : comment décide- t – il de la date d'intervention
- Interventions optionnelles : comment décide- t – il de la faire ou non et de la date d'intervention
- Renseignements : où collecte t – il l'information
- Synthèse de la stratégie décisionnelle de l'agriculteur
- Synthèse de la stratégie décisionnelle globale de l'agriculteur

Annexe 3. Caractérisation des exploitations de l'échantillon

Tableau 6: Caractérisation des exploitations de l'échantillon selon sept variables

Code agri-culteurs	Mode de produc-tion	Type de produc-tion	Quantité cheptel	Forme juridique	Date installation	UTH	SAU
AC1	AC	Caprin	200 chèvres Alpines + 6 boucs	Individuel	2014	1	55
AC2	AC	Porcin	125 truies et 2500 porcs (2000 places engraissement + 500 places post-sevrage)	EARL	1977	2	80
AB1	AB	Bovin lait	116 dont 65 VL normandes	EARL	1989	2,5	78
AC3	AC	Bovin lait	45 dont 31 VL (quoats 270 000 litres)	Individuel	1980	1,5	26,5
AC4	AC	Bovin lait	160 dont 85 VL	GAEC	2003	2	120
AC5	AC	Bovin lait	117 dont 73 VL	GAEC	1993	2,5	73,3
AC6	AC	Bovin lait + Porcin	110 bovins dont 60 VL + 980 places engraissement porcs et 480 places post sevrage	EARL	1998	2	88
AC7	AC	Porcin	1000 places engraissement + 240 places post sevrages	EARL	1992	1	110
AC8	AC	Bovin lait + Volaille	107 dont 50 VL (quotas 360 000 L) + poulets de Janzé	EARL	1995	2	61,93
AB2	AB	Bovin viande	139 avec vaches allaitantes Parthenaises	EARL	2003	3,8	80
AB3	AB	Bovin lait	127 dont 62 VL	GAEC	1985	2,5	93,13
AC9	AC	Porcin	600 places: 400 en engraissement extérieur et 200 en post – sevrage, 200 truies NE	GAEC	1988	3	176,2
AB4	AB	Non	Non	Individuel	1977	2	42
AC10	AC	Bovin lait	193 dont 79 VL	EARL	2004	2	125
AB5	AB	Bovin lait	67 dont 57 VL Montbeliardes x Holstein	EARL	1984	3	69
AC11	AC	Bovin lait	175 dont 85 VL	GAEC	1995	2	150
AC12	AC	Bovin viande	15 bêtes dont 7 vaches limousines, 1 taureau Blond aquitaine	Individuel	1980	2	56

Annexe 4. Les pratiques agricoles à priori favorables à la régulation biologiques

Tableau 7: Les pratiques agricoles à priori favorables à la régulation biologiques sélectionnées pour l'analyse : variable, classe et notation (source personnelle)

Pratiques agricoles	**Impact sur la régulation biologique**	**Variable évaluée dans l'analyse**	**Pondé-ration**	Classes et notation					
				peu favorable	moyennement favorable			fortement favorable	
				1	1,5	2	2,5	2,5	3
Rotation longue et diversifiée	Favorable	volonté de l'agriculteur d'avoir une rotation diversifiée	1	non	X			X	oui
Fertilisation organique	Favorable	taux moyen passages potentiels en fertilisation organique/culture	1	non	X	oui et non	X	X	oui
Association d'espèces et de variétés	Favorable	présence d'association culturale	1	non	X			X	oui
		taux des cultures avec mélange variétal (%)	0,5	0	X			1% à 50%	51% à 99%
Semis dense	Favorable	densité du semis en kg/ha	0,5	161 à 200	X	141 à 160	X	X	120 à 140
Cultures intermédiaires, couvert, jachères…	Favorable	présence d'un couvert d'interculture	0 ,5	non	X			X	oui
Organisation du paysage : hétérogénéité, zones non cultivées, mosaïque de cultures…	Favorable	non pris en compte	1	X	X			X	
Cultures pièges/Zones attractives	Favorable	non pris en compte	1	X	X			X	
Taille de parcelle moyenne	Favorable	surface moyenne par ilot (ha)	0,5	<5 ha ou >15 ha	X			entre 5 et 15 ha	
Pâturage modéré	Favorable	non pris en compte	1	X	X			X	

Pratiques agricoles	**Impact sur la régulation biologique**	**Variable évaluée dans l'analyse**	**Pondé-ration**	Classes et notation					
				peu favorable	moyennement favorable			fortement favorable	
				1	1,5	2	2,5	2,5	3
Nombre élevé de variétés différentes par culture	Favorable	Nombre moyen de variétés par culture	0,5	< 1,67	X	1,68 à 2,78	X	X	≥2,75
Faible recours aux produits phyto-sanitaires	Favorable	IFT Blé 2014/IFT Blé moyen Bretagne	2	IFT blé 2014 >IFT blé moyen Bretagne	X	IFT blé 2014 <IFT blé moyen Breta-gne	X	X	IFT blé 2014 = 0
		Recours au désherbage mécanique*	1	Non	X	Oui et non	X	X	Oui
Lutte biologique classique	Défavorable	non pris en compte	1	X	X			X	
Travail du sol	Défavorable	taux de cultures labourées systématiquement (%)	1	100%	51% à 99%	X	1% à 50%	X	0%
Enfouissement des résidus de culture	Défavorable	non pris en compte	1	X	X			X	

* La notion de recours au désherbage mécanique implique celle de pratique alternative aux intrants chimiques, nocifs à la régulation biologique. Nous avons choisit de représenter le recours au désherbage mécanique par une variable qualitative plutôt que quantitative. En effet, considérer le taux de cultures concerné reviendrait à perdre la notion de fréquence du recours au désherbage mécanique, bien souvent optionnel en complémentarité du chimique. De même, ne considérer que les cultures pour lesquelles le désherbage mécanique est systématique ne concernerait que les agriculteurs en AB. c'est pourquoi nous avons choisi de considérer comme très favorable à la régulation biologique un système ayant recours uniquement au désherbage mécanique, favorable lorsqu'il y a recours, et peu favorable lorsqu'il n'y a jamais recours. Il en va de même pour le recours à une fertilisation organique.

Annexe 5. Les ressources productives: trois variables

- **Le parcellaire**

→ Hétérogénéité des terres : cette variable est évaluée via la distance de la parcelle la plus éloignée de la ferme : Si une parcelle est éloignée du corps de ferme de plus d'1 km, alors on considère que le parcellaire est dispersé. Un parcellaire est caractérisé comme regroupé lorsque la distance des parcelles à l'exploitation ne dépasse pas les 1 km. Une exception réside cependant dans notre échantillon. En effet un des agriculteurs (AB5) possède une parcelle isolée à plus de 8 km de l'exploitation, cependant l'intégralité des terres restantes est regroupée à moins d'1 km du corps de ferme. Cette parcelle éloignée étant isolée et non-représentative du parcellaire, ce dernier est donc caractérisé de regroupé.

→ Nombre d'ilots : on considère que plus le nombre d'ilots est élevé, plus la conduite des cultures est complexe car l'agriculteur doit s'adapter à un plus grand nombre de caractéristiques pédoclimatique intrinsèque aux ilots, doit faire plus d'aller-retour entre les ilots.

→ Surface moyenne d'un ilot : on considère que plus la surface moyenne de l'ilot et élevée, plus la conduite des cultures en est facilitée. En effet une surface plus faible implique plus de difficulté pour utiliser les machines à l'intérieur de la parcelle, plus de caractéristiques pédoclimatiques différentes à gérer, plus d'aller-retour entre ilots…

→ La SAU : on considère que plus la SAU est élevée plus la conduite du système de culture est compliquée car les interventions sur les cultures (opérations culturales ou observations) prennent plus de temps.

→ Nombre de bloc de culture/culture (= nombre de rotations comprenant la culture/culture)

Nous avons voulu considéré ce paramètre, partant du postulat que plus une culture donnée appartient à un grand nombre de blocs de culture différents, plus sa conduite est complexe. En effet, les précédents et suivants culturaux ne sont pas les mêmes, ainsi la gestion d'une même culture est différente selon les rotations où elle est incluse. Cependant, après analyse, ce paramètre ne nous a pas paru pertinent, nous avons donc choisit de ne pas le prendre en compte.

- **La main d'œuvre présente :**

Ceci nous permet de rendre compte de la ressource en travail humain par rapport à la surface à exploiter UTH/SAU. On considère que plus le nombre d'UTH est élevé sur l'exploitation, plus le système est simple à conduire car la charge de travail est répartie entre les différentes personnes.

Nous avons également voulu évaluer la main d'œuvre disponible par rapport au troupeau à conduire via le rapport UTH/UGB. Cependant, l'UGB est calculé via des coefficients basés sur la charge en effluents d'élevage par animal et non sur des notions de charges de travail. Peu d'étude sont été réalisées sur ce sujet, c'est pourquoi nous avons choisi de ne pas prendre cet élément en compte.

- **Le matériel agricole :** en commun/propre

Nous évaluerons si la matériel est possédé en propre ou partagé. On considère qu'avoir la majorité du matériel agricole en commun (CUMA, copropriété…) rend la conduite du système de culture plus difficile car le matériel est moins vite disponible lorsque l'agriculteur décide d'intervenir par rapport à du matériel possédé en propre qui permettant plus de réactivité.

- **La sous – traitance d'opérations agricole** : recours à une ETA ou une CUMA:

Cette variable peut être à la fois source de simplification, car en sous – traitant des opérations, l'agriculteur allège sa charge de travail et se libère du temps. Mais elle peut aussi être vu comme source de complexité car l'agriculteur doit s'adapter aux disponibilités de l'organisme prestataire pour intervenir sur ses parcelles et peut difficilement moduler la date selon d'autres variables.

- **Le type de sol** :

Nous avons choisi de ne pas prendre en compte le type de sol car au travers de nos enquêtes, cette variable n'est pas apparue déterminante dans les choix des agriculteurs et la gestion du système.

Ces variables peuvent par ailleurs être corrélée entre elles (Cf. infra Tableau 12) Nous pouvons constater que les variables caractéristiques du parcellaire sont liées. En effet, la distance de la parcelle la plus éloignée est fortement corrélée au nombre d'ilots, à leur surface moyenne, et plus faiblement à la SAU et au rapport UTH/SAU. Ainsi plus le nombre d'ilot est important, plus ces derniers ont des chances d'être dispersés et de petite taille. Ce phénomène peut s'accentuer si la SAU est plus importante. Le nombre d'ilots et la SAU sont notamment corrélés à 69,4%. Ainsi, plus la SAU est importante et plus les surfaces ont tendance à être découpées en un grand nombre d'ilots.

Nous pouvons également observer un lien entre le parcellaire et la sous – traitance. En effet, la surface des ilots est élevée, plus le nombre d'opérations sous-traitées est important. Cependant ce lien n'est pas toujours valable (corrélation à 46%).

Le mode de production (AC ou AB) est également lié à plusieurs variables caractéristiques des ressources productives .Il apparaît notamment corrélé à 50% au rapport UTH/SAU. En effet, en moyenne le ratio UTH/SAU des exploitations de l'échantillon est de 0,029, contre 0,039 en AB. Ceci peut s'expliquer par le fait que les exploitations en AB ont tendance à disposer de plus de main d'œuvre par rapport à leur surface avec en moyenne 2,76 UTH contre une moyenne d'échantillon de 2,16 UTH. Leur SAU est également plus faible que la moyenne générale (72,43 ha contre 87,3 ha) mais ce n'est pas la raison majeure de ce faible ratio car les valeurs sont diverses (de 42 ha à 93,13 ha). Cependant, cette corrélation n'est pas systématique : toutes les exploitations présentant un fort ratio UTH/SAU ne sont pas en AB et toutes les exploitations en AB n'ont pas un fort ratio UTH/SAU. En effet, sur les quatre forts ratios UTH/SAU de l'échantillon, une exploitation est en AC. Son rapport UTH/SAU élevé s'explique par sa SAU, la plus faible de l'échantillon (26,5 ha contre en moyenne 87,3 ha). De même, seuls trois exploitations sur les cinq en AB de l'échantillon représentent les ratios les plus forts de l'échantillon (en moyenne 0,046 contre 0,029). Les deux exploitations restantes en AB ont un ratio UTH/SAU plus faible du fait d'un nombre d'UTH moins élevé que les autres (2,5 contre 3,3) et une forte SAU (celle ayant le ratio le plus faible a la SAU la plus forte des exploitations en AB avec 93,13 ha contre 67,25 ha pour les autres).

Tableau 8: Matrice des corrélations pour les huit variables ressources productives d'intérêts (réalisé sous R commander)

	D.parcelle..km.	mode.production	Nbr.ilots	Nbr.opération.ETA
D.parcelle..km.	1.00000000	-0.05909806	0.57373509	-0.23540885
mode.production	-0.05909806	1.00000000	-0.07004121	-0.09128709
Nbr.ilots	0.57373509	-0.07004121	1.00000000	-0.14728710
Nbr.opération.ETA	-0.23540885	-0.09128709	-0.14728710	1.00000000
S.ilot..ha.	-0.48365435	-0.17022812	-0.57970988	0.46072841
SAU	0.31502846	-0.25541567	0.69414734	-0.03725197
UTH	-0.10098749	0.56805903	0.04178703	0.02305870
UTH.SAU	-0.33622420	0.50366718	-0.52085584	0.08615498

	S.ilot..ha.	SAU	UTH	UTH.SAU
D.parcelle..km.	-0.48365435	0.31502846	-0.10098749	-0.33622420
mode.production	-0.17022812	-0.25541567	0.56805903	0.50366718
Nbr.ilots	-0.57970988	0.69414734	0.04178703	-0.52085584
Nbr.opération.ETA	0.46072841	-0.03725197	0.02305870	0.08615498
S.ilot..ha.	1.00000000	-0.20936251	-0.01072768	0.12546606
SAU	-0.20936251	1.00000000	0.20533455	-0.74328952
UTH	-0.01072768	0.20533455	1.00000000	0.36135798
UTH.SAU	0.12546606	-0.74328952	0.36135798	1.00000000

Annexe 6. Evaluation de la complexité des systèmes de cultures via le critère de l'assolement : six variables de complexités, deux classes

Les pondérations et classes sont récapitulées dans les tableaux 3 et 4 (Cf. infra)

- **Nombre de cultures différentes : décomptées en termes d'entité recouvrant le sol**

Cette variable est considérée comme la plus importante des six et est donc pondérée par 2. En effet, plus l'agriculteur conduit un grand nombre de cultures différentes plus son système est complexe car il implique un assolement et un itinéraire technique différent pour chacune.
On considère que la variable a une complexité forte au dessus de quatre cultures différentes car le système de culture majoritaire au sein de l'échantillon est Maïs – Blé – Orge – PT, la culture d'orge pouvant être remplacée par du Colza.
Les associations de culture sont comptées non pas comme plusieurs mais comme une seule culture
Une même espèce cultivée à la fois en culture de printemps et en culture d'hiver est comptée comme deux cultures différentes.
La prairie temporaire est comptée parmi les cultures car tous les agriculteurs enquêtés n'ont pas forcément de prairies.

- **Nombre d'associations culturales différentes**

Les associations d'espèces sont comptées non pas comme plusieurs mais comme une seule culture. On considère que les associations culturales apportent une complexité au système, car leur conduite implique tout d'abord le mélange des semences lors de l'intervention, mais aussi un tri des différents grains lors de la récolte, plus de difficulté à détecter visuellement maladies et signes de carence au sein du mélange. Ainsi la présence d'associations culturales quelque soit leur nombre est considérée comme apportant une complexité élevée.

- **Nombre de couverts différents et d'associations en couvert:**

Nous avons voulu décompter le nombre de fois qu'il y avait présence d'un couvert intercultural dans la rotation. Cependant au vu de la faible variabilité de réponse (seul 1 différent), nous avons choisi de ne pas prendre en compte cette variable. Nous prendrons donc seulement en compte le nombre d'espèces en couvert différents et le nombre d'association d'espèces parmi ces couverts.
En effet on considère que plus l'agriculteur a une large gamme de couverts interculturaux à choisir (différant par les espèces en culture), plus le système est complexe à mettre en place. De même, on considère que des couverts multi-espèces sont plus complexes à mettre en place que des couverts impliquant une seule espèce. On considère alors qu'un système est plus complexe dès lors qu'il a plus d'un type de couvert à choisir et qu'il y a présence de mélange multi-espèces, quelque soit leur nombre.
Ces deux variables sont pondérées par 0,5 car elles sont considérées comme moins importantes que les autres étant donné que la gestion des intercultures est plus facile. En effet les couverts sont en place sur une faible période de temps, seulement sur certaines parcelles et nécessitent peu d'interventions de la part de l'agriculteur.

- **Nombre de rotations différentes**

On assume que plus l'agriculteur a un nombre important de rotations culturale à gérer, plus la gestion de son système est complexe, étant donnée que chaque rotation implique un itinéraire technique et un choix d'assolement différent.

Au vu des valeurs de l'échantillon pour cette variable (en moyenne 3,35 rotations), nous considérons que la complexité de la rotation est faible orte dès lors que le nombre de rotations est strictement inférieur à 3.

- **Durée de la rotation en termes d'années cultivées:**

La durée de la rotation comprend uniquement le nombre d'années cultivées. En effet, nous avons tout d'abord pris en compte deux variables : la durée moyenne totale de la rotation et la durée moyenne d'une prairie. Cependant une prairie temporaire devant être cassée au bout de 5 ans, la variabilité des réponses au sein de l'échantillon était très faible. Cette variable n'était donc pas pertinente. Toutefois la durée globale de la rotation sans la notion de durée de prairie n'était pas pertinente non plus pour évaluer la complexité du système de culture. Nous avons donc remplacé ces deux variables par une le variable unique : le nombre d'années cultivées dans la rotation, sans prendre en compte la durée de la prairie. En effet, plus le nombre d'années cultivées est élevé, plus le système est complexe, considérant la conduite d'une prairie comme peu complexe.

Compte tenu des valeurs de l'échantillon pour cette variable (en moyenne 2,71 ans) et que la rotation de base en Bretagne se compose souvent de 2 cultures annuelles (maïs et blé tendre)[1], nous considérons que la complexité de la rotation est forte dès lors que la durée de la rotation est strictement supérieure ou égale à 3.

Tableau 9: Tableau des classes pour les six variables concernant la rotation

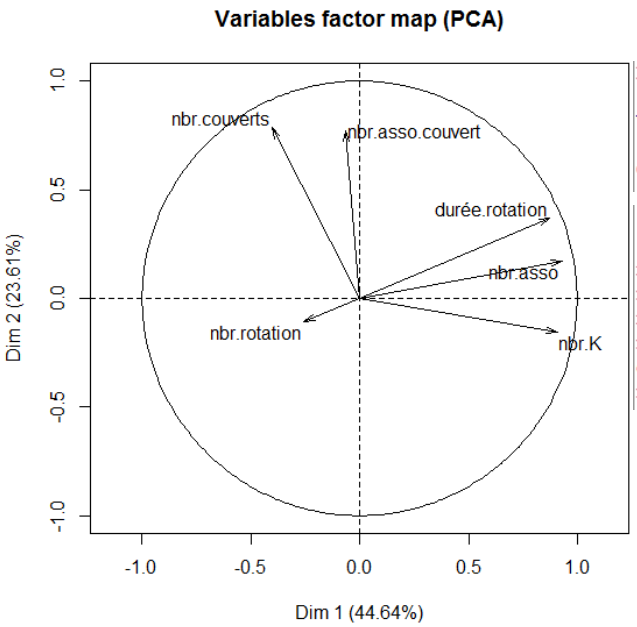
	Classes de complexité					
complexité	nombre de cultures ≠	nombre d'associations	nombre de couverts ≠	nombre d'associations en couvert	nombre de rotation	durée moyenne rotation (hors PT)
faible	≤4	0	≤1	0	<3	<3
forte	>4	≥1	≥2	≥1	≥3	≥3

Tableau 10: Tableau récapitulatif des pondérations pour les six variables du paramètre rotation

pondération	
nombre de culture	2
nombre d'association en cultures annuelles	1
nombre de couverts différents	0,5
nombre d'associations en interculture	0,5
durée de la rotation (hors PT)	1
nombre de rotations différentes	1

[1] Données récoltées entre 2006 et 2009, source : RPG, AGIR, tirés de Etude et documents : Diversification des cultures dans l'agriculture française, état des lieux et dispositifs d'accompagnement, 2012, n°67, par le Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable.

Annexe 7. Les résultats statistiques pour l'analyse de la complexité de la rotation : figures et graphiques



Eigenvalues

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6
Variance	2.679	1.417	1.068	0.586	0.148	0.102
% of var.	44.645	23.610	17.808	9.760	2.472	1.705
Cumulative % of var.	44.645	68.255	86.063	95.823	98.295	100.000

$contrib

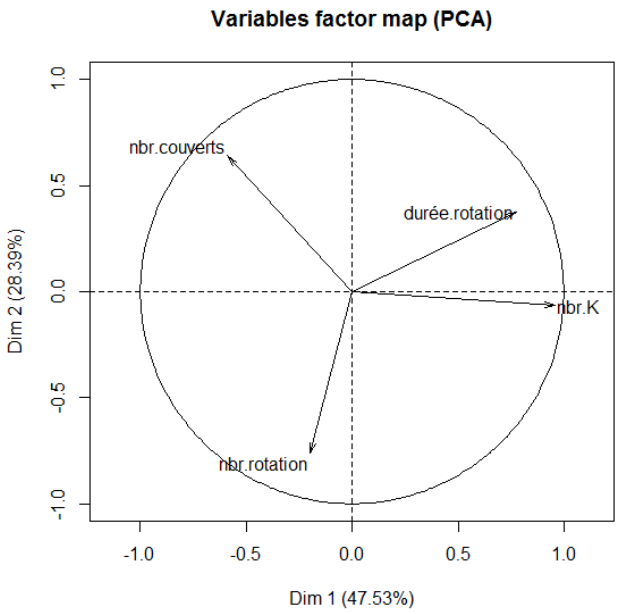
	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
nbr.K	30.7348522	1.7541264	3.1164602	5.402321	57.7735578
nbr.asso	32.1748212	2.0827055	0.3781340	7.486293	3.3632070
nbr.couverts	6.0822894	43.5957244	6.1036869	20.281595	23.9336344
nbr.asso.couvert	0.1575496	42.0485741	15.9662228	38.494860	1.4567522
durée.rotation	28.4004516	9.6703292	0.2520861	6.284520	13.2361972
nbr.rotation	2.4500361	0.8485404	74.1834100	22.050411	0.2366514

(avec K = cultures)

Variables

	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2
nbr.K	0.907	30.735	0.823	-0.158	1.754	0.025	0.182	3.116	0.033
nbr.asso	0.928	32.175	0.862	0.172	2.083	0.030	-0.064	0.378	0.004
nbr.couverts	-0.404	6.082	0.163	0.786	43.596	0.618	-0.255	6.104	0.065
nbr.asso.couvert	-0.065	0.158	0.004	0.772	42.049	0.596	0.413	15.966	0.171
durée.rotation	0.872	28.400	0.761	0.370	9.670	0.137	0.052	0.252	0.003
nbr.rotation	-0.256	2.450	0.066	-0.110	0.849	0.012	0.890	74.183	0.793

Figure 14: Contribution des six variables du paramètre rotation à l'explication de la diversité de l'échantillon (ACP réalisée sous R commander)



Eigenvalues

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4
Variance	1.901	1.136	0.814	0.149
% of var.	47.531	28.389	20.345	3.736
Cumulative % of var.	47.531	75.919	96.264	100.000

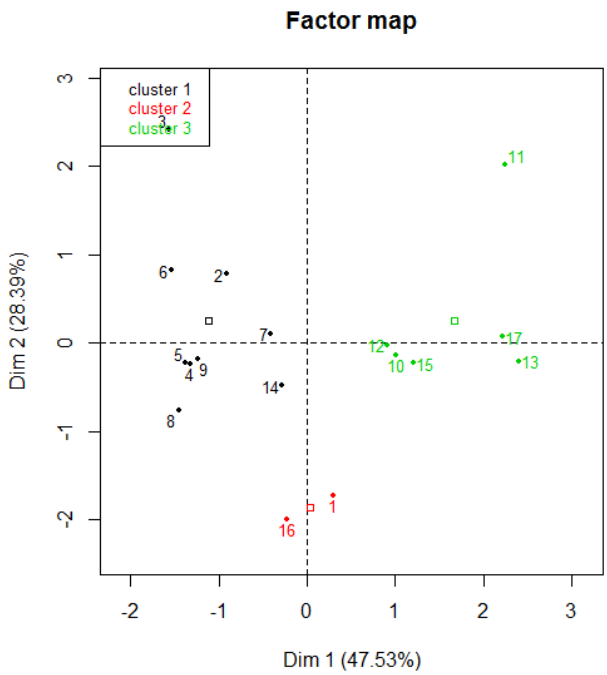
Variables

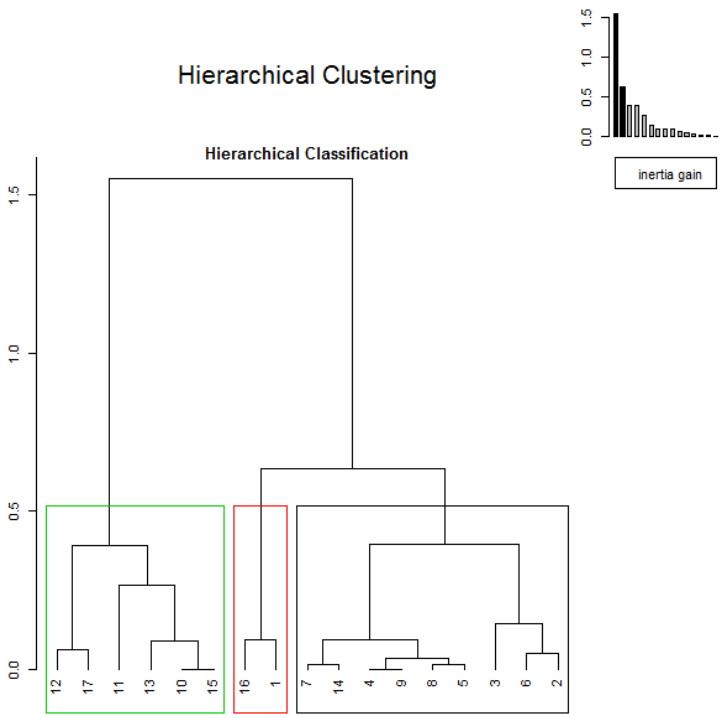
	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2
nbr.K	0.958	48.270	0.918	-0.067	0.396	0.004	0.036	0.161	0.001
nbr.couverts	-0.588	18.207	0.346	0.639	36.003	0.409	0.465	26.580	0.216
durée.rotation	0.774	31.473	0.598	0.375	12.362	0.140	0.466	26.692	0.217
nbr.rotation	-0.197	2.051	0.039	-0.763	51.240	0.582	0.616	46.567	0.379

$contrib

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4
nbr.K	48.269600	0.3960696	0.1609411	51.1733897
nbr.couverts	18.207125	36.0026271	26.5804836	19.2097646
durée.rotation	31.472553	12.3617306	26.6920364	29.4736798
nbr.rotation	2.050723	51.2395727	46.5665389	0.1431659

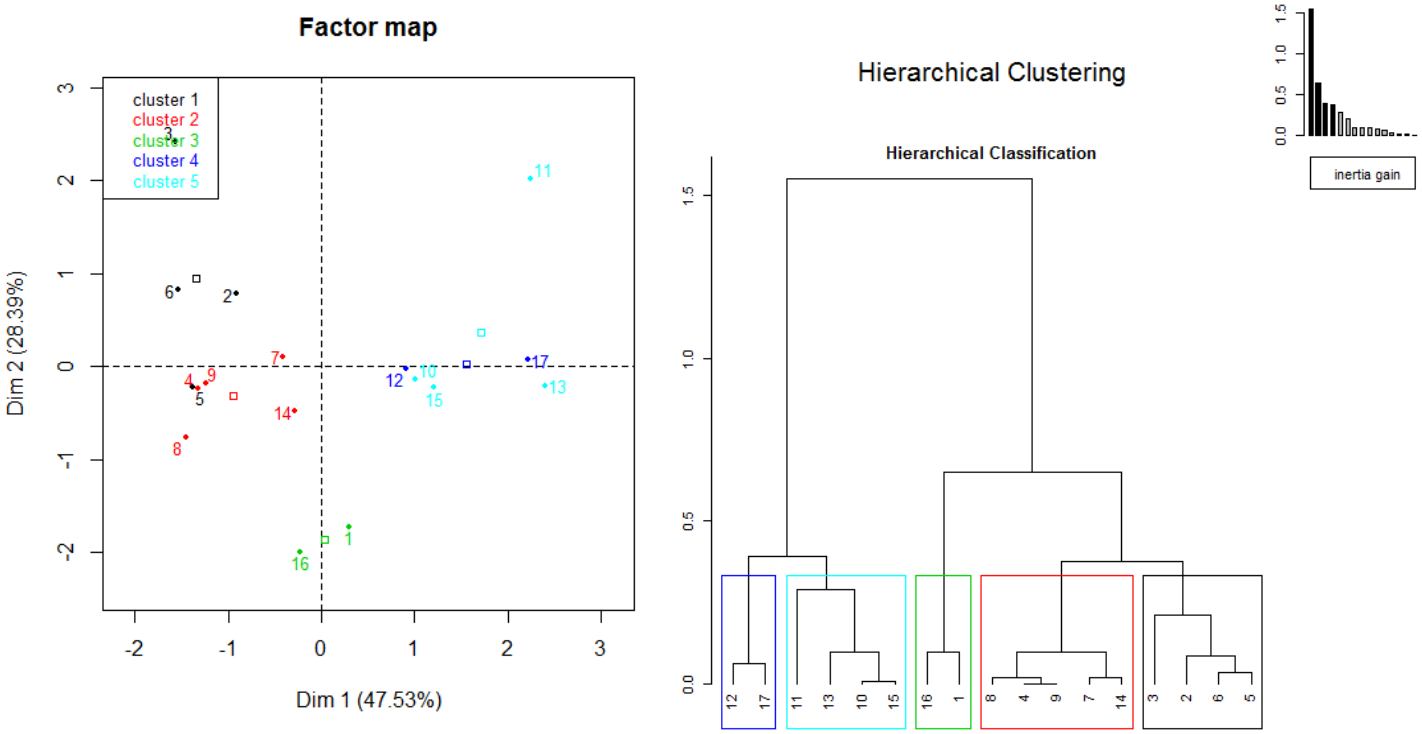
Figure 15: Contribution des quatre variables sélectionnées à l'explication de la diversité de l'échantillon pour le paramètre rotation (ACP réalisée sous R commander)






```
> res.hcpc$desc.var
$quanti.var
                    Eta2      P-value
nbr.K          0.8670179 7.354493e-07
durée.rotation 0.5071138 7.066861e-03
nbr.rotation   0.5015432 7.645266e-03

$quanti
$quanti$`1`
                 v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd     p.value
nbr.couverts    2.283962         2.888889     2.235294      1.0999439   1.214104 0.022373743
durée.rotation -2.353816         1.983333     2.705882      0.6944222   1.302360 0.018581814
nbr.K          -3.613601         3.777778     5.647059      0.6285394   2.194677 0.000301974

$quanti$`2`
               v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd     p.value
nbr.rotation 2.738613                6     3.352941              1   1.411765 0.006169899

$quanti$`3`
                 v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd      p.value
nbr.K          3.391576         8.166667     5.647059       1.067187   2.194677 0.0006949194
durée.rotation 2.840985         3.958333     2.705882       1.261750   1.302360 0.0044974443


attr(,"class")
[1] "catdes" "list "
```

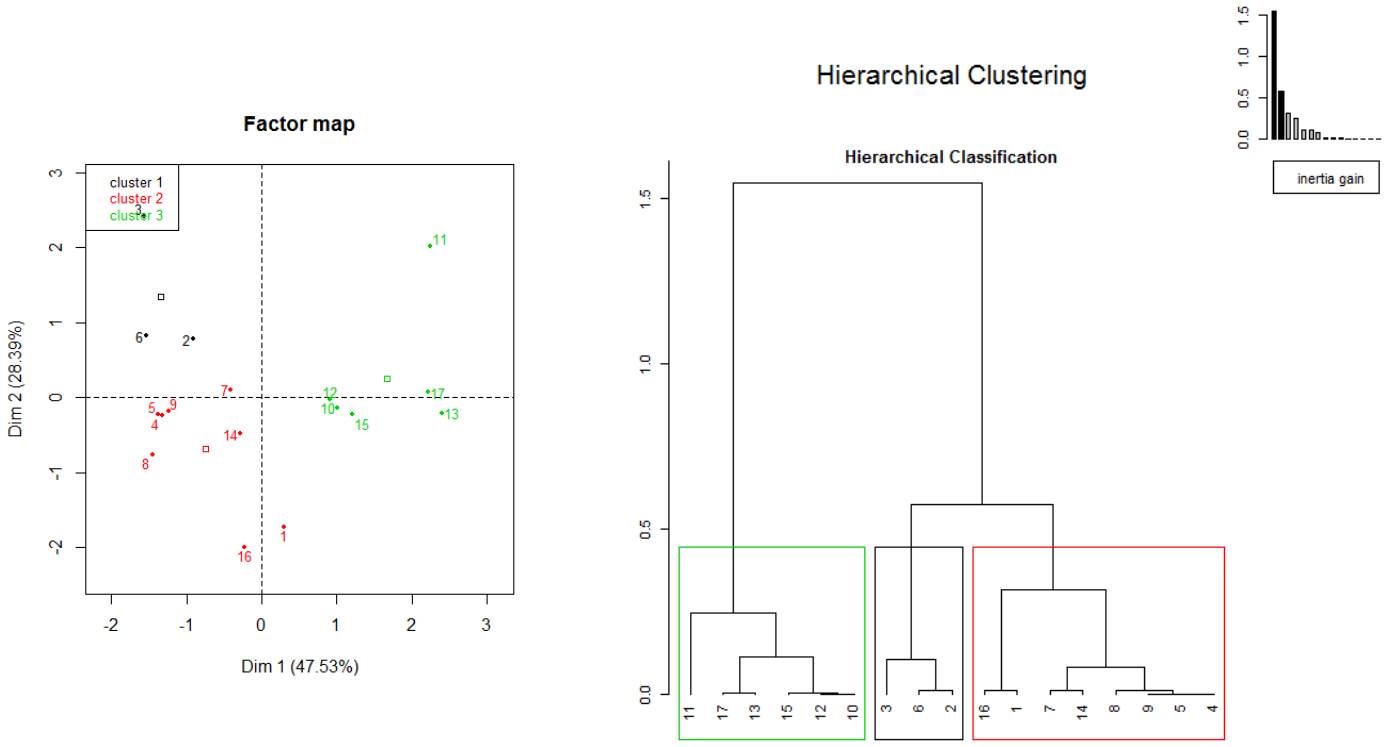
Figure 16: classification en trois groupes à partir des quatre variables du paramètre rotation sélectionnées, en prenant en compte les 3 axes principaux : graphiques et descriptif des classes (ACP réalisée sous R commander)



L'échantillon est divisé en cinq groupes en prenant en compte les 3 axes principaux:

- groupe 1 caractérisé par un nombre de couvert supérieur à la moyenne (4 contre2,2)
- groupe 2 caractérisé par un nombre de culture inférieur à la moyenne (3,6 contre 5,6)
- groupe 3 caractérisé par un nombre de rotation supérieur à la moyenne (6 contre 3,4)
- groupe 4 caractérisé par un nombre de couvert inférieur à la moyenne (0,5 contre 2,2)
- groupe 5 caractérisé par un nombre de culture supérieur à la moyenne (8,3 contre 5,6) et des rotations plus longues que la moyenne (4,6 ans contre 2,7 ans)

Figure 17 : classification en cinq groupes à partir des quatre variables du paramètre rotation en prenant en compte les 3 axes principaux (ACP réalisée sous R commander)

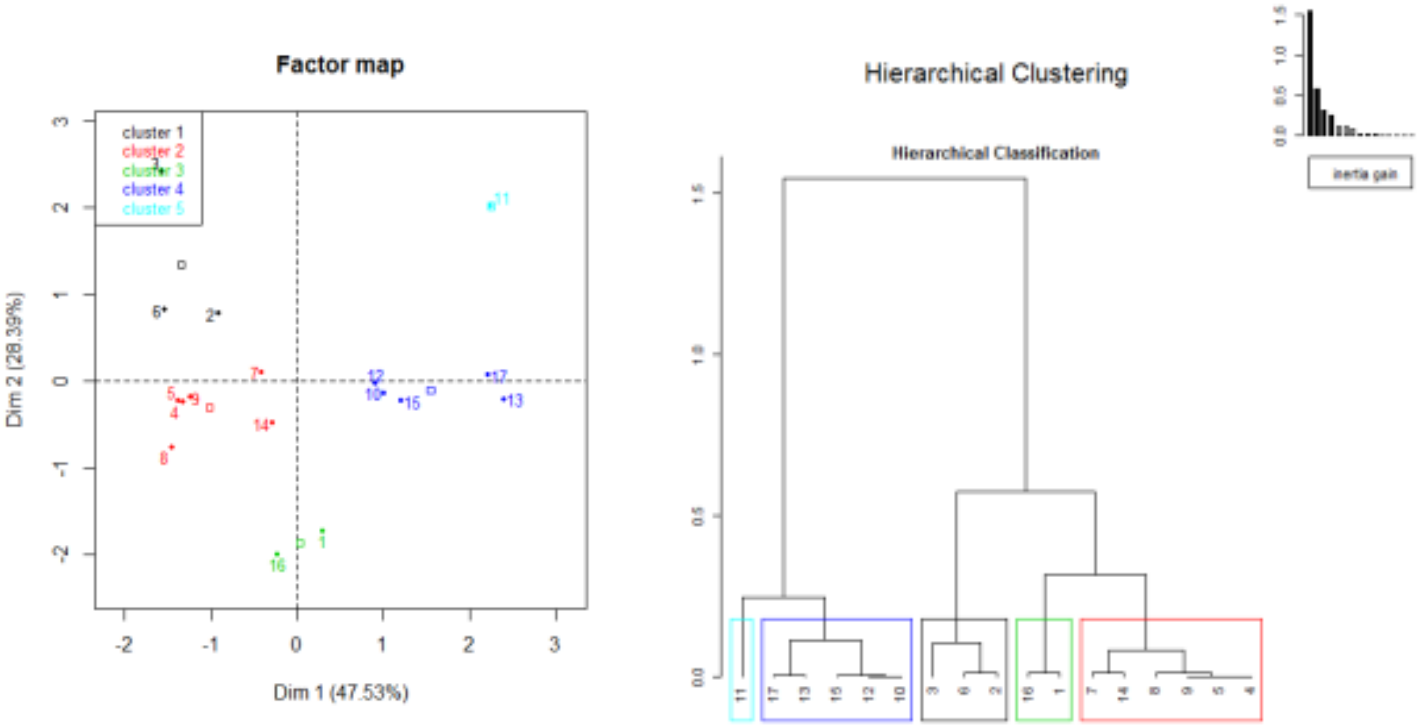


L'échantillon est divisé en trois groupes en prenant en compte les 2 axes principaux:

Nous pouvons regrouper l'échantillon en deux groupes :

- groupe 1, caractérisé par un faible nombre de culture (4,4 contre 5,6 en moyenne) et des rotations courtes (1,9 ans contre 2,7 ans en moyenne). En revanche ce groupe effectue un nombre de rotations différentes plus élevées que la moyenne générale (4,1 contre 3,4).
  Au sein de ce groupe, nous pouvons distinguer deux sous – groupes : les exploitations ayant un nombre élevé de couverts différents (4,3 contre 2,2) et celles ayant un nombre moyen.
- Groupe 2, caractérisé par un nombre de culture élevé (8,2 contre 5,6) et des rotations longues (4 ans contre 2,7)

Figure 18: classification en trois groupes à partir des quatre variables du paramètre rotation en prenant en compte les 2 axes principaux (ACP réalisée sous R commander) graphiques et description des groupes



L'échantillon est divisé en cinq groupes en prenant en compte les 2 axes principaux:

- groupe 1 caractérisé par un nombre de couverts supérieur à la moyenne (4,3 contre2,2)
- groupe 2 caractérisé par un nombre de cultures inférieur à la moyenne (3,6 contre 5,6) et des rotations moins longue que la moyenne (1,8 ans contre 2,7)
- groupe 3 caractérisé par un nombre de rotations supérieur à la moyenne (6 contre 3,4)
- groupe 4 caractérisé par un nombre de couverts inférieur à la moyenne (0,5 contre 2,2) et un nombre de cultures supérieur (8,2 contre 5,6)
- groupe 5 caractérisé par des rotations plus longues que la moyenne (6,5 ans contre 2,7 ans)

Figure 19: classification en cinq groupes à partir des quatre variables du paramètre rotation en prenant en compte les 2 axes principaux (ACP réalisée sous R commander) : graphiques et description des groupes

➔ Une classification en trois groupes est perçue comme la plus appropriée une division en cinq entrainant de faible effectifs par groupe (trois, deux, voire une seule exploitation) et des variables caractéristiques jugées peu pertinente comme le nombre de couverts (Cf. Figure 17, Figure 18 et Figure 19).

Annexe 8. Analyse quantitative de la stratégie décisionnelle: nombre et type de critère de décision et leur moyen d'obtention

Concernant l'analyse qualitative de la stratégie décisionnelle des agriculteurs, nous décomptons le nombre et le type de critères de décisions mobilisés pour la conduite du Blé dans un premier temps, puis pour le système de culture global, afin de savoir ce que l'agriculteur pend en compte pour réaliser ses différentes opérations.

Nous identifierons tout d'abord le nombre et type de critères de décision par opération culturale, afin de déterminer si un raisonnement par opération culturale est plus pertinent ou si caractériser les critères toutes opérations culturales confondues l'est tout autant. Ceci permettra de déterminer si certaines opérations sont plus ou moins faciles à décider, selon le nombre de critères qu'elles impliquent. En effet, plus une opération implique un grand nombre de critère de décision, plus celle-ci sera complexe à réaliser.

Après avoir identifié les critères de décision pour la conduite du Blé par opération culturale, nous avons constaté que selon ces dernières, les critères différaient et étaient plus ou moins nombreux (Cf. tableau 1). Nous avons également observé que certains types d'intervention se ressemblaient au niveau du nombre et des types de critères mobilisés. Nous avons donc choisi d'analyser les critères de décision par groupes d'opérations culturales:

- Les opérations concernant l'apport d'intrants : nécessite entre 3,65 et 4,35 critères de décision :
  L'opération nécessitant le plus de critères est le désherbage, suivie de près par les traitements fongiques/insecticides puis la fertilisation.
- Les opérations travail du sol – semis – récolte : nécessitent en moyenne 1.53 à 1.88 critères de décision.

Tableau 11: Les différents types de critères de décisions par opération culturale

	Travail sol	Semis	récolte	fertilisation	désherbage	Traitements insec/fongi
Climat	X	X	X	X	X	X
Maturité			X			
Voisins			X			
Conseils				X	X	X
programme		X		X	X	X
Lettres/bulletins/logiciels				X		X
précédent	X	X		X	X	
Disponibilité matériel CUMA				X		X
Disponibilité ETA		X				
Temps disponible	X	X			X	X
Type/date de travail du sol					X	X
Signes de carence				X		
Modalité/date passage précédent				X	X	X
Date récolte précédent	X	X				
Date semis				X	X	
Taille du troupeau				X		
Stocks de lisier/fumier/produits				X	X	
Budget				X		

	Travail sol	Semis	récolte	fertilisation	désherbage	Traitements insec/fongi
Stade de la plante				X	X	X
Variétés		X		X		X
Potentiel de rendement					X	X
Salissement	X			X	X	
Etat du pulvérisateur					X	
Type d'adventices	X				X	
Période de salissement					X	
Potentiel de rendement				X		
Nécessité de vider la fosse				X		
Vitesse de minéralisation				X		
Richesse de l'engrais				X		
Type de sol	X	X		X		
Etat du sol	X					
Proximité parcelle				X		
Conformation parcelle	X	X				
Pression maladies						X
Pressions insectes						X
Pressions nuisibles (rongeurs, oiseaux)	X			X		
Précautions pour bioagresseurs		X				
Risques de lessivage						X

Cependant, hormis le semis et la récolte qui mobilisent uniquement des critères pour décider de la date d'intervention, un critère peut se rattacher à différents types de décisions : la date d'intervention mais aussi le nombre de passages, le type de travail du sol, de fertilisant, la dose etc…
C'est pourquoi nous regroupons les critères en deux groupes distincts :

→ Les critères qui font que l'opération est réalisée : date, nombre de passages

→ Les critères qui se rapportent à comment l'opération est réalisée : dose, profondeur, type

A noter qu'un même critère n'est compté qu'une fois par opération même s'il est mobilisé pour différents types de décision.

Les critères qui reviennent pour décider de :

- La date d'intervention
- Le climat :

Le terme de climat comme critère de décision regroupe plusieurs notions :
→ La notion de pluies entrainant l'impossibilité d'intervenir sur les terres pour ne pas les abîmer.
→ La notion d'humidité de la terre, qui implique d'attendre que le sol soit ressuyé pour intervenir.
→ La notion d'hygrométrie avec la condition d'une hygrométrie élevée pour pouvoir traiter.
→ La notion de température, avec la nécessité d'attendre que les conditions climatiques soient sèches et chaudes pour pouvoir intervenir (exemple pour la récolte).
→ La notion de vent, avec la condition qu'il y est une absence de vent pour pouvoir traiter

- Les dates d'opérations précédentes ou suivantes : récolte, semis, fertilisation, désherbage mécanique
- La disponibilité : de l'agriculteur et de l'entrepreneur
- Le développement de la plante cultivée : stade de la plante, maturité de la plante,

- Les préconisations extérieures : conseils du technicien, programme préétabli, logiciel d'aide à L'intervention, bulletin d'avertissement, lettres d'information

➢ L'intervention optionnelle

- Pression des bioagresseurs : état de salissement, pression maladies, niveau d'attaque d'insectes.
- Préconisations extérieures : conseils du technicien, programme préétabli, logiciel d'aide à l'intervention, bulletin d'avertissement, lettres d'information

Cependant, nous ne pouvons pas évaluer la complexité sur le simple nombre de critères pris en compte, la manière dont **l'information est obtenue** est également d'importance. En effet, un agriculteur peut décider son intervention en prenant en compte un grand nombre de paramètres, mais qu'il obtient via le programme préétabli avec son conseiller ou par lettre d'informations. Tandis qu'un agriculteur peut avoir recours davantage à l'observation régulière de ses parcelles, nécessitant de ce fait plus de temps, de connaissances techniques et de réactivité.

Ainsi, nous distinguerons plusieurs groupes de sources d'informations et établirons une graduation de complexité selon le temps et les connaissances techniques qu'elles nécessitent :

1. Surveillance des cultures (+ de connaissance techniques) : stade de développement ??, signe de carence, de maladies, d'attaques d'insectes, type d'adventices.
2. Observations sur les parcelles: état du sol (humidité/sécheresse du sol, tassement…) niveau de salissement de la parcelle, climat
3. Empirisme : se base sur son expérience : requiert des connaissances techniques mais peu de temps de recherche
4. Recherche d'informations : prévisions météo via internet, journaux, traitement via logiciel de conseil, revues : peu de connaissances techniques mais temps de recherche
5. Echanges d'informations entre collègues (groupement, voisins…)
6. Prélèvements et analyses : analyses de sols pour décider de l'apport de fertilisants, prélèvement sur la culture pour déterminer le taux d'humidité et décider la date de récolte… : prend peu de temps et nécessite peu de connaissances car réalisée par un organisme
7. Info extérieure : recours aux conseils et au programme préétabli avec le conseiller-technicien, avertissements agricoles, bulletin d'information, disponibilité de l'ETA,
8. Connaissance intrinsèques au système : précédent cultural, stockes de fumier… : ne nécessite pas de connaissance et pas de temps de recherche puisque l'agriculteur connait son système.

Annexe 9. Les systèmes de cultures à priori favorables à la régulation biologique selon la bibliographie

Tableau 12: Notation des 17 systèmes de cultures selon la présence de pratiques à priori favorables à la régulation biologique

Pondération	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	2	
CODE	Désherbage mécanique	Fertilisation Organique	TCS	Rotation longue et diversifiée	Association espèces	Association variétés	Nombre élevé de variétés par culture	semis dense	présence de couverts interculturaux	Parcelle de taille moyenne	IFT Blé Faible	note totale
AC1	1	1	1	2	1	0,5	1	NA	1,5	1,5	2	12,5
AC2	2	1	3	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	2	13,5
AB1	3	3	1,5	3	1	1,5	1,5	NA	1,5	0,5	6	22,5
AC3	1	2	3	1	1	0,5	0,5	NA	1,5	0,5	2	13
AC4	1	1	2,5	1	1	1,5	1,5	0,5	1,5	1,5	2	15
AC5	2	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1,5	0,5	2	12
AC6	2	2	2,5	2	1	1,25	1	1,5	NA	0,5	2	15,75
AC7	2	1	3	1	1	1,5	1	0,5	1,5	0,5	2	15
AC8	2	1	3	1	1	0,5	1,5	1	1,5	0,5	2	15
AB2	3	3	1	3	3	1,5	1	1,5	1,5	0,5	6	25
AB3	3	3	1,5	3	3	1,5	1	1,5	1,5	0,5	6	25,5
AC9	1	3	1	1	1	0,5	1,5	1	1,5	1,5	2	15
AB4	3	3	1	3	3	1,25	1	1	1,5	1,5	6	25,25
AC10	1	1	2,5	2	1	1,5	1	0,5	1,5	1,5	4	17,5
AB5	3	3	1,5	3	3	1,5	1	1	1,5	1,5	6	26
AC11	2	1	3	1	1	1,5	0,5	0,5	1,5	0,5	4	16,5
AC12	1	1	3	3	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	4	15,5

Annexe 10. Verbatim des agriculteurs concernant les raisons de leurs choix de pratiques

Certains systèmes de cultures ont un impact meilleur que d'autres sur la régulation biologique par la présence de pratiques plus favorables. Cependant la mise en place ou non de ces dernières dépend de différentes raisons propres aux agriculteurs et aux caractéristiques de leurs exploitations.

Le désherbage mécanique (p36)

- **V 1**, AC1: "*On va sûrement essayer le désherbage mécanique car on va devoir y passer selon les techniciens."*
- **V 2**, AC9: "*Les céréales ce n'est pas facile car nous on apporte du lisier donc on amène aussi des mauvaises herbes qu'on n'a pas forcément sur la parcelle qui vienne de l'aliment que les porcs ont consommés et qui se développe après dans le lisier et nos terres. Donc c'est pour ça qu'il faut être vigilant."*
- **V 3**, AC11: "*C'est pas simple de conduire cette technique de sans – labour sans avoir de désherbants à mettre."*
- **V 4**, AC7: "*Nous qui sommes en systèmes cultures on a plus de pression des mauvaises herbes que dans les systèmes laitiers où les cultures suivent des pâtures et c'est plus propre."*
- **V 5**, AC11: "*La solution c'est en autre d'allonger les rotations, sans doute que tu casses plus facilement le cycle des mauvaises herbes. Mais bon dans un système d'élevage à un moment donné il faut remplir les silos pour les vaches, il faut des fourrages pour tes animaux et donc c'est plutôt Maïs – Blé."*
- **V 6**, AC8: "*Le binage prend plus de temps que le désherbage chimique et c'est moins sûr, le désherbage chimique on est sûr que ça va être efficace*."
- **V 7**, AC2 : "*Le désherbage mécanique c'est ponctuellement s'il y a de gros problèmes*."
- **V 8**, AC5*: "Peut-être que cette année je vais essayer sur une parcelle de faire mon 2e passage avec la bineuse, comme on en a une à la CUMA, on a plusieurs bio donc a tout ce qu'il faut niveau matériel."*
- **V 9**, AC9: "*Un bon désherbage au moment où la plante se développe c'est très bien*."
- **V 10**, AC11: "*Le désherbage mécanique si on a laissé des mauvaises herbes passer elles ne vont peut – être pas trop t'embêter dans la culture en place mais l'année d'après si."*
- **V 11**, AC5*: "Peut-être que cette année je vais essayer sur une parcelle de faire mon 2e passage avec la bineuse, comme on en a une à la CUMA, on a plusieurs bio donc a tout ce qu'il faut niveau matériel."*
- **V 12**, *AC8: " L'expérience du binage a été bonne l'année dernière. Cette année je ne sais pas si je le ferai, ça dépendra du temps. [...]J'aimerais biner le Maïs mais ne peut être pris à la CUMA que la*

bineuse 4 rangs. Si on veut la bineuse 6 rangs, on est obligés de faire faire le semis par un chauffeur.")

- **V 13**, AB4: "*Pour l'instant dans l'état actuel des choses on est qu'à 15 cm d'inter-rang donc on ne peut pas passer la bineuse, le semoir est conçu comme ça donc on va peut –être modifier le semoir ou changer le système, c'est en projet."*
- **V 14**, AB2: *"Moi ce que j'aimerais à termes c'est une bineuse de céréales et pour ça il faut être équipé à plusieurs, on ne va pas faire ça pour nos 10 – 15 ha de cultures.*"
- **V 15**, AB3: *"Nous pour l'instant on est resté dans le système à 14 cm d'inter – rang avec passage de herse - étrille. Parce qu'après quand on passe dans ce système à 32 cm avec la bineuse il faut être 2, parce qu'il y a un siège derrière l'outil donc il faut le guider. Ou alors après il faut travailler avec GPS et laser."*

Pour La fertilisation organique (p37)

- **V 16**, AC11: *"Le Maïs valorise très bien les effluents d'élevage donc on les garde en priorité pour le Maïs."*
- **V 17**, AC8: "*Je préfère garder le fumier de volaille pour le Maïs car sur Blé ça fait des marques sur les terrains avec le passage de l'épandeuse, comme c'est plus humide en Octobre qu'en Avril."*
- **V 18**, AC10: "S*ouvent la fertilisation des céréales avec les effluents d'élevage ce sont pour les personnes qui sont coincées."*
- **V 19**, AC6: *"On fait l'épandage sans tonne pour blé et orge car on peut passer partout, donc je peux en mettre quand je veux, et il n'y a qu'un seul passage en tirant un tuyau, donc ça évite les tassements de la terre parce qu'avec la tonne à lisier quand c'est vide il faut retourner en chercher donc ils retournent sur eux – même et c'est des passages et des passages."*
- **V 20**, AC6: "*On épand du fumier que sur le maïs, s'il en reste en stock*."
- **V 21**, AC5: *"Si on avait du lisier de porc à 5-6 unités ok, mais nous notre lisier n'est qu'à 2 unité donc il faut en mettre plus donc on doit faire beaucoup de passages."*

Pour Les Techniques Culturales Simplifiées (p37)

- **V 22**, AC6: " *Ça a des avantages, on économise en gazole."*
- **V 23**, AC11: "*On a décidé de passer en semis direct parce qu'on faisait labourer donc ça nous coûtait*."
- **V 24**, AC8: " *J'ai toujours fait sans labour car j'avais de petites parcelles avant où il était difficile d'y travailler.*"
- **V 25**, AC12: "*[…] Ce sont des parcelles biscornues donc c'est pas facile d'y passer pour labourer."*
- **V 26**, AC11: "*Ça permet de ne pas bouger la matière organique qui est en surface et logiquement de maintenir les petits vers de terre à leur place et de ne pas leur casser toutes leurs galeries."*

- **V 27**, AC4: "*On gagne du temps, et comme on fait semer ça nous permet de n'avoir qu'une seule personne sur la terre à passer le cultivateur et l'autre peut rester à l'élevage*."
- **V 28**, AC10*: "On met énormément de temps à semer parce que dès qu'il pleut un peu on est obligé d'attendre le lendemain ou le surlendemain que le sol se soit ressuyé.* "
- **V 29**, AC8: "*Avant j'étais associé à un agriculteur qui avait 7 ans d'expérience de plus et qui m'a appris cette technique de non-labour."*
- **V 30**, AC2: " *Je laboure uniquement si la parcelle est humide et matraquée, abimé, tassée ou s'il y a trop de débris végétaux au sol."*
- **V 31**, AC3: *" Il faut que la terre soit sèche pour un sans labour. C'est le climat qui joue tout."*
- **V 32**, AB1: "*Je fais du TCS derrière une céréale si le sol va bien, mais derrière une prairie de 4 ans le sol est bien tassé alors je laboure."*
- **V 33**, AC6: " *Je ne laboure plus le Maïs car le couvert de phacélie qui précède fait déjà travailler le sol"*
- **V 34**, AC10: "*Après le Colza quand j'implante mon Blé, je fais systématiquement une destruction chimique. Du coup sur ces parcelles là j'ai tendance à faire du semis simplifié."*
- **V 35**, AC11*: "Si tu veux faire du semis direct il faut mettre beaucoup de Round'up."*
- **V 36**, AC10: "*Les techniques simplifiées ont tendance à accentuer l'utilisation des phytos*."
- **V 37**, AC9: "*On a des terres humides donc un labour est important pour pouvoir l'aérer et pour gagner 15 jours dans les dates de semis car en labourant les terres au printemps ça sèche beaucoup plus vite*."
- **V 38**, AB5: "*Moi j'essaye de m'adapter au contexte pédoclimatique d'ici. Ici le sol est moins profond, la CEC est plus faible, il y a moins de réserve utile. Si je ne le fait pas ce n'est pas pour des raisons techniques parce que je sais faire les semis sous – couvert, mais j'ai peur que de louper l'implantation de la prairie.*"
- **V 39**, AC1: "*Mes parents faisait du non labour mais la terre ne respire pas. C'est pas bien pour les mycotoxines. Moi je reviens sur un système de labour.*"
- **V 40**, AC5: "*Je n'ai jamais essayé les TCS, je ne suis pas prêt, il faut accepter le salissement, même si je sais que ça marche. Moi je fais les vielles méthodes, j'aime bien que ce soit propre.*"
- **V 41**, AB5: "*Ça a été la cata dans le blé en semis direct*."
- **V 42**, AB3: "*Ça serait plus intéressant le semis direct dans les céréales que le labour on a la prairie tout de suite et ça coûte moins cher à implanter, c'est une question de coût par rapport à la consommation énergétique*."
- **V 43**, AB2: "*Récolter l'orge paye le coût d'implantation de ta prairie. Et la prairie est directement disponible à l'automne. On a gagné 6 mois, on a une récolte en plus d'herbe dans l'année. Et niveau salissement c'est impeccable aussi."*

Pour Des rotations longues et diversifiées (p38)

- **V 44**, AB2: "*De toute façon en bio pour avoir une céréale d'hiver propre il n'y a rien de mieux que les rotations longues.*"
- **V 45**, AB4: " *Actuellement la rotation est sur 4-5 ans mais si on peut faire un peu plus ça permettrait de faire des prairies en luzerne et changer le cycle du sol."*
- **V 46**, AC1: " *Il faut varier les cultures sinon la terre s'épuise."*
- **V 47**, AC4: " *La betterave [...] ça diversifie la ration.*"
- **V 48**, AC11: " *Si tu allonges les rotations sans doute que tu casses plus facilement le cycle des mauvaises herbes.* "
- **V 49**, AC12*: " Insérer de la vesce car c'est une légumineuse donc ça apporte de l'azote aux parcelles qui en ont besoin. "*
- **V 50**, AB2: "*Peut être qu'à un moment on va faire un échange Maïs – Luzerne parce que c'est bien de mettre de la luzerne dans la ration.*"
- **V 51**, AC1: "*Je reviendrais peut être au pois si je devais diversifier ma rotation, pour la paille de pois à donner aux chèvres.*"
- **V 52**, AC7: "*S'ils aidaient à faire un peu plus de cultures protéagineuses on en ferait peut – être, et ça permettrait d'importer moins de soja. On est tributaire des Américains pour la protéine, on pourrait en faire mais ils ne veulent pas.*"
- **V 53**, AB1: "*Au lieu de 10 ha de Maïs, j'ai fais 2 fois 2 ha de betterave et 8 ha de Maïs. J'avais envie d'essayer et c'est bon pour les vaches. Mais ça complexifie un peu le système.*"
- **V 54**, AC1: "*Je ferais éventuellement de la betterave si vraiment il y a avait une demande importante.*"
- **V 55**, AC4 : " *[…] Tout ce qui est prairie temporaire, il faut les casser avant 5 ans sinon elles deviennent prairie permanente. […] Le problème c'est que quand tu as un volume de Maïs déjà important qu'est – ce qu'on va faire ? Il y a un gars qui faisait de la betterave derrière ses prairies. J'implante du blé directement derrière ma betterave et ma terre elle est belle. On a un peu galéré pour sortir la betterave car il n'y a pas beaucoup de gens qui les extraient, que 2 entreprises donc il faut attendre son tour. Mais bon avait à peine 1 ha et on a dû sortir une centaine de tonnes donc le rapport est pas mal. […] Le défaut de la betterave c'est qu'elle gèle, il faut la protéger. […]Mais bon ça dure un hiver donc ça diversifie la ration."*
- **V 56**, AC11: "Du *Blé, de l'Orge, du Colza, c'est plus simple finalement, c'est dans un souci de simplification.*"
- **V 57**, AB4: "*S'agrandir un petit peu ça serait bien. C'est la priorité d'ailleurs. Pour allonger les rotations."*
- **V 58**, AB2: "*Moi ce que j'aimerais à terme c'est une bineuse de céréales.[…] Si j'avais eu ça dès le début j'aurais moins remis en question mon système céréaliers, où j'aurais fait des protéagineux et du Blé, j'aurais pu ramener de l'azote, partir sur un autre système.*"

- **V 59**, AC7: "*Pour l'instant le pois ce n'est pas une culture qui est rentable car ça fait peu de rendement et derrière il n'y a pas tellement de débouchés*."
- **V 60**, AC1: "C'est *ce qu'il manque ici, d'autres cultures, mais il faut trouver après le débouché. [...] Il y a des modes comme le chanvre mais ça dure 1 an ou 2 et après le marché est finit.*"
- **V 61**, AC1*:" Il faudrait varier les cultures, mais quelles cultures intermédiaires et quel débouché valorisable pour l'alimentation des chèvres ?"*
- **V 62**, AC11: "*Dans un système d'élevage il faut des fourrages pour tes animaux et donc c'est plutôt Maïs – Blé*."

Pour Les mélanges multi-espèces (p39)

- **V 63**, AC11: *"L'idée c'est que c'est un couvert multi-espèces comme ça s'il y en a une qui fout en l'air il y a en a une autre pour prend le relais. Et logiquement tout l'espace est utilisé."*
- **V 64**, AB5: " *Quand il y a deux cultures, la somme de la production est supérieure à une production seule. Après c'est empirique."*
- **V 65**, AB4: *"Il y a plus de concurrence avec les mauvaises herbes.*"
- **V 66**, AB5: "*Je mélange de l'avoine avec la féverole pour combler les trous, ça couvre le sol et diminue le desséchement.*"
- **V 67**, AB4: "*La légumineuse permet de ramener de l'azote à la plante, c'est bénéfique surtout dans les systèmes en bio, donc on a un meilleur développement et un meilleur rendement de la céréale.*"
- **V 68**, AB3: *"Le mélange c'est pour essayer de ressortir un équivalent VL pour les vaches laitières, pour éviter un salissement après la 2ème ou 3ème paille, et puis au niveau agronomique, mélanger une céréale avec une légumineuse fait que la légumineuse capte l'azote du sol qu'elle ramène pour la céréale donc ça crée un équilibre à ce niveau là aussi. Donc c'est agronomique, pour les animaux et pour le salissement."*
- **V 69**, AC12: "*Ça fait du boulot en plus car il faut mélanger les graines avant de les semer.*"
- **V 70**, AB4: *" On essaye d'associer parce qu'on peut trier, ce n'est pas un souci, on peut séparer les graines les unes des autres car on a des trieurs avec des grilles."*
- **V 71**, AB1: " *Les associations ça ne marche pas. Je connais des gens qui en ont fait, du soja avec le Maïs, ou alors du Ray-grass italien. Ça ne marche pas.*"
- **V 72**, AB2: "*J'ai essayé des mélanges plus complexes (triticale, pois, orge, blé, seigle, vesce…) mais ça ne marchait pas bien.*"

Pour Les mélanges multi-variétaux (p40)

- **V 73**, AC7: *"Je mélange 2-3 variétés car pour moi ça limite les maladies, la verse."*
- **V 74**, AC2: "*L'ensemble est moins sensible aux maladies."*
- **V 75**, AC8: " *Je vais faire des mélanges de variétés car c'est le technicien qui l'a dit, pour que ça soit plus riche en protéines.*"
- **V 76**, AC2: " *Quand on veut voir si une variété est mieux qu'une autre on la mélange.*"
- **V 77**, AB4: "*La variété qu'on essaye on la mélange aux autres, ça permet d'avoir une bonne vision des choses par rapport au développement des céréales."*
- **V 78**, AC10: "*Si je tombe sur une mauvaise variété, comme il y a l'autre à côté je ne me retrouve pas à avoir toute la parcelle mauvaise*"
- **V 79**, AB4: " *C'est mieux de mélanger les variétés parce que s'il y en a une un peu plus productive et l'autre un peu moins, un peu plus sensibles aux maladies d'autres un peu moins, ça fait une moyenne, il y a un équilibre qui se crée naturellement.*"
- **V 80**, AC11: "*Il ne faut pas mettre tous ses œufs dans le même panier des fois."*
- **V 81**, AC6: "*Le blé c'est en pure parce que c'est contraignant de mélanger de la semence de Blé dans un semoir. Le Maïs c'est facile, c'est des bottes, donc on en met un sur deux et terminé on sait que c'est mélangé. Mais allez mélanger dans un semoir !*"
- **V 82**, AC6: "*Le Maïs c'est plus facile parce que ça va se voir de visu, alors que dans le Blé les différences sont plus difficiles à voir, comme la plante elle sèche, enfin on le voit à la fin, c'est le rendement qui fait foi de tout.*"
- **V 83**, AC10: *"En Maïs certaines variétés ne vont pas supporter le stress hydrique, d'autres oui, alors qu'en Blé on a moins ces problèmes là, c'est une culture d'hiver, donc je ne mélange pas parce qu'il y a moins cet effet là."*
- **V 84**, AC9: "*Je fais en pure car la récolte est plus facile."*
- **V 85**, AB4: *" Le problème après c'est que si on n'a pas les mêmes maturités, une qui est mûre et l'autre pas, au moment du battage ce n'est pas évident."*
- **V 86**, AC2: "*Les variétés ne reçoivent pas les traitements pareil."*
- **V 87**, AC2: "*C'est plus difficile de voir s'il y a des maladies car l'aspect visuel est différent donc c'est dur de savoir quand appliquer le traitement.*"
- **V 88**, AC9: "*Ça pourrait être mélangé, mais j'aime bien avoir une céréale avec la même variété côte à côte."*

Annexe 11. Les systèmes de cultures favorables à la régulation biologique basés sur les mesures 2014 d'abondance et de richesse spécifique en carabes:

Tableau 13: Mesures des deux sessions 2014 d'abondance et de richesse spécifique des carabes

Code	Abondance S1	Abondance S2	Moyenne abondance	Richesse spé S1	Richesse spé S2	Moyenne richesse
AB3	56	396	226	8	8	8
AB2	86	95	90,5	7	13	10
AB4	59	78	68,5	10	11	10,5
AB5	47	53	50	9	4	6,5
AB1	24	51	37,5	5	11	8
AC12	40	41	40,5	10	5	7,5
AC8	17	32	24,5	7	5	6
AC1	22	31	26,5	5	6	5,5
AC10	19	26	22,5	1	7	4
AC9	23	13	18	8	8	8
AC6	5	12	8,5	4	7	5,5
AC2	27	8	17,5	8	4	6
AC4	17	6	11,5	5	4	4,5
AC11	12	5	8,5	7	3	5
AC7	10	5	7,5	6	3	4,5
AC5	8	5	6,5	3	4	3,5
AC3	12	2	7	6	1	3,5

```
Eigenvalues
                        Dim.1   Dim.2
Variance                1.555   0.445
% of var.              77.730  22.270
Cumulative % of var.   77.730 100.000
```

```
Variables
                      Dim.1    ctr   cos2    Dim.2    ctr   cos2
Moyenne.abondance |  0.882 50.000  0.777 |  0.472 50.000  0.223 |
Moyenne.richesse  |  0.882 50.000  0.777 | -0.472 50.000  0.223 |
```

L'axe 1 explique 77,73% de la variabilité de l'échantillon est se définit autant par l'abondance des carabes que par leur richesse spécifique.

L'axe 2 explique 22,27% de la variabilité de l'échantillon. Il se définit autant par l'abondance des carabes que par leur richesse spécifique, cette dernière lui étant inversement proportionnelle.

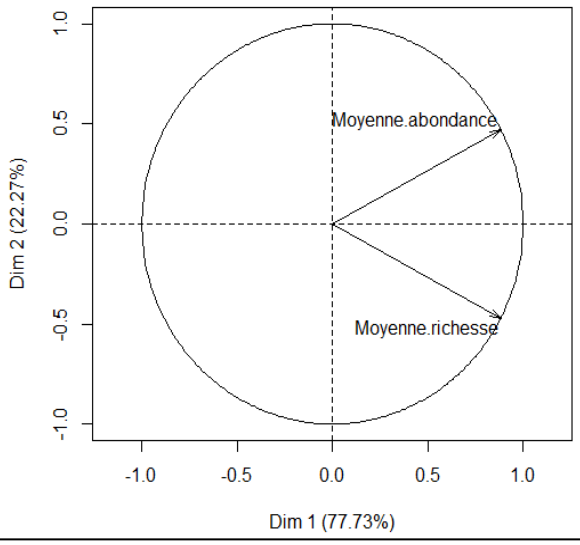
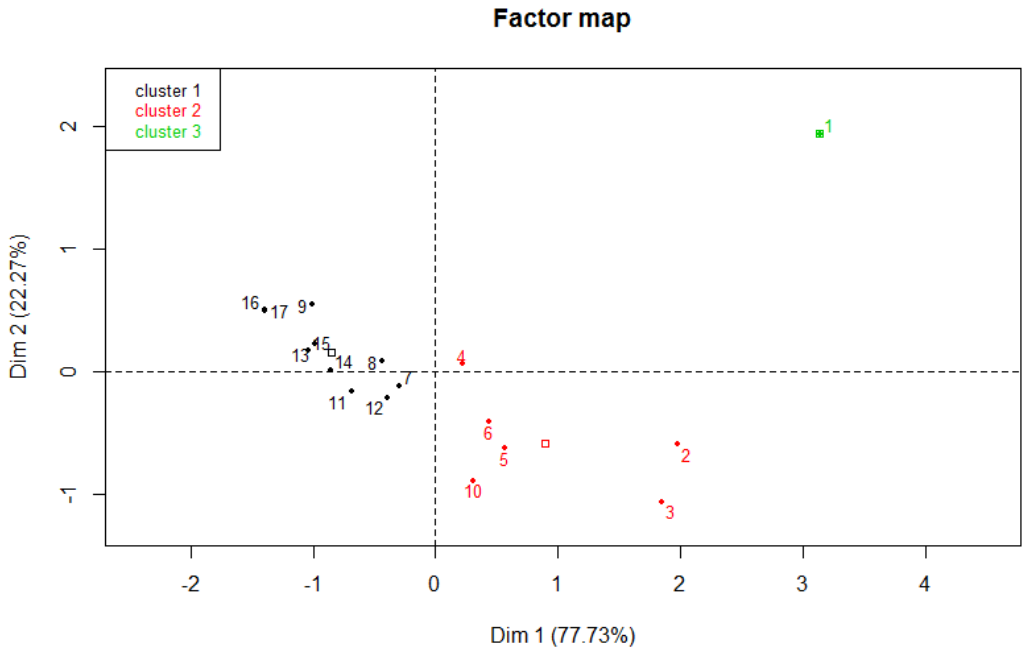
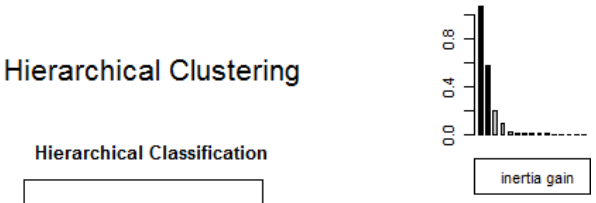
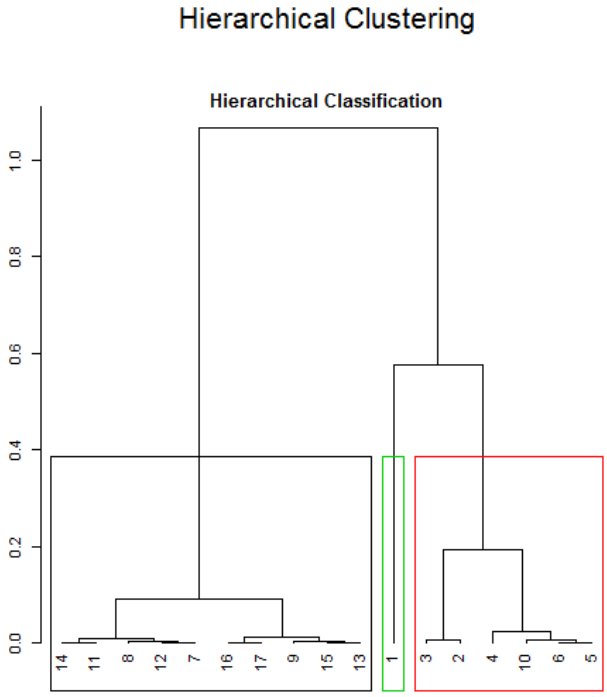


Figure 20: Analyse statistique à partir des mesures d'abondance et de richesse spécifique en carabes (ACP réalisée sous R commander)







- Groupe 1 (AC6, AC2, AC4, AC11, AC7, AC5, AC3, AC8, AC1, AC10): Abondance et richesse faible inférieure à la moyenne générale de l'échantillon.

- Groupe 2 (AB1, AB2, AB4, AB5, AC12, AC9) : richesse spécifique élevée, abondance faible

- Groupe 3 (AB3) : abondance très élevée

```
$quanti
$quanti$`1`
                     v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd     p.value
Moyenne.abondance -2.343052            14.05     39.500000       7.518145  51.929817 0.019126706
Moyenne.richesse  -3.401279             4.80      6.264706       0.900000   2.058824 0.000670713

$quanti$`2`
                    v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd     p.value
Moyenne.richesse 3.087838         8.416667      6.264706       1.396921   2.058824 0.002016184

$quanti$`3`
                     v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd      p.value
Moyenne.abondance 3.591386              226         39.5              0   51.92982 0.0003289245
```

Figure 21: Typologie des systèmes de culture à partir de l'analyse statistique des mesures d'abondance et de richesse spécifique en carabes (CAH réalisée sous R commander)

Annexe 12. Les tableaux de résultats pour le premier paramètre de complexité : la rotation

Tableau 14: Tableau des données brutes pour les six variables du paramètre rotation

Code agriculteurs	nombre de cultures différentes	nombre d'associations	nombre de couverts différents	nombre d'associations en couvert	durée moyenne rotation (années cultivées, hors PT)	nombre de rotation
AC1	7	0	1	0	1,8	5
AC2	4	0	4	1	3,4	4
AB1	4	0	5	1	2	1
AC3	3	0	2	0	1,3	3
AC4	4	0	3	1	1,5	4
AC5	4	0	4	1	1,7	3
AC6	4	0	2	0	2,7	3
AC7	3	0	2	1	1,25	4
AC8	3	0	2	0	1,5	3
AB2	7	1	2	1	4	4
AB3	8	3	3	1	6,5	2
AC9	7	0	1	1	2,5	2
AB4	10	2	1	1	4	3
AC10	5	0	2	2	2,5	4
AB5	8	2	2	0	3,75	4
AC11	6	0	2	1	2,6	7
AC12	9	1	0	0	3	1 /!\
moyenne	5,65	0,53	2,24	0,71	2,71	3,35

Légende:

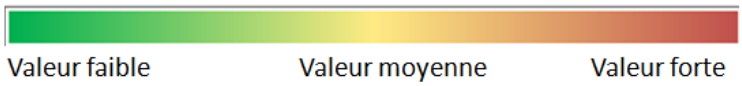


Tableau 15: Tableau des données attribuées à leur classe de complexité

Pondération	2	1	0,5	0,5	1	1		
Code agriculteurs	nbr de cultures ≠	nbr d'associations	nbr couverts ≠	nbr associations couvert	durée moyenne rotation	nombre de rotation	**Total**	
AC1	7	0	1	0	1,8	5		
	forte	faible	faible	faible	faible	forte	3 forte	3 faible
	6	1	0,5	0,5	1	3	12,00	
AC2	4	0	4	1	3,4	4		
	faible	faible	forte	forte	forte	forte	3 forte	3 faible
	2	1	1,5	1,5	3	3	12,00	
AB1	4	0	5	1	2	1		
	faible	faible	forte	forte	faible	faible	1 forte	5 faible
	2	1	1,5	1,5	1	1	8,00	
AC3	3	0	2	0	1,3	3		
	faible	faible	forte	faible	faible	faible	0,5 forte	5,5 faible
	2	1	1,5	0,5	1	1	7,00	
AC4	4	0	3	1	1,5	4		
	faible	faible	forte	forte	faible	forte	2 forte	4 faible
	2	1	1,5	1,5	1	3	10,00	
AC5	4	0	4	1	1,7	3		
	faible	faible	forte	forte	faible	faible	2 forte	5 faible
	2	1	1,5	1,5	1	1	8,00	
AC6	4	0	2	0	2,7	3		
	faible	faible	forte	faible	faible	faible	0,5 forte	5,5 faible
	2	1	1,5	0,5	1	1	7,00	
AC7	3	0	2	1	1,25	4		
	faible	faible	forte	forte	faible	forte	2 forte	4 faible
	2	1	1,5	1,5	1	3	10,00	
AC8	3	0	2	0	1,5	3		
	faible	faible	forte	faible	faible	faible	0,5 forte	5,5 faible
	2	1	1,5	0,5	1	1	7,00	
AB2	7	1	2	1	4	4		
	forte	forte	forte	forte	forte	forte	6 forte	0 faible
	6	3	1,5	1,5	3	3	18,00	
AB3	8	3	3	1	6,5	2		
	forte	forte	forte	forte	forte	faible	5 forte	1 faible
	6	3	1,5	1,5	3	1	16,00	
AC9	7	0	1	1	2,5	2		
	forte	faible	faible	forte	faible	faible	2,5 forte	3,5 faible
	6	1	0,5	1,5	1	1	11,00	
AB4	10	2	1	1	4	3		
	forte	forte	faible	forte	forte	faible	4,5 forte	1,5 faible
	6	3	0,5	1,5	3	1	15,00	

Pondération	2	1	0,5	0,5	1	1		
Code agriculteurs	nbr de cultures ≠	nbr d'associations	nbr couverts ≠	nbr associations couvert	durée moyenne rotation	nombre de rotation	**Total**	
AC10	5	0	2	2	2,5	4		
	forte	faible	forte	forte	faible	forte	4 forte	2 faible
	6	1	1,5	1,5	1	3	14,00	
AB5	8	2	2	0	3,75	4		
	forte	forte	forte	faible	forte	forte	5,5 forte	0,5 faible
	6	3	1,5	0,5	3	3	17,00	
AC11	6	0	2	1	2,6	7		
	forte	faible	forte	forte	faible	forte	4 forte	2 faible
	6	1	1,5	1,5	1	3	14,00	
AC12	9	1	0	0	3	1 /!\		
	forte	forte	faible	faible	forte	forte /!\	4 forte	2 faible
	6	3	0,5	0,5	3	3	16,00	

Légende:

Valeur faible — Valeur moyenne — Valeur forte

/!\ Considéré comme fort car 1 rotation mais nombreuses modalités

Tableau 16: Les notes de complexité des 17 agriculteurs de l'échantillon et leur attribution à 3 groupes de complexité

Code agriculteurs	Nombre de forte	Nombre de faible	Note de complexité
AC1	3	3	12
AC2	3	3	12
AB1	1	5	8
AC3	0,5	5,5	7
AC4	2	4	10
AC5	2	5	8
AC6	0,5	5,5	7
AC7	2	4	10
AC8	0,5	5,5	7
AB2	6	0	18
AB3	5	1	16
AC9	2,5	3,5	11
AB4	4,5	1,5	15
AC10	4	2	14
AB5	5,5	0,5	17
AC11	4	2	14
AC12	4	2	16

Légende :

: Groupe 1 : complexité faible

: Groupe 2 : complexité moyenne

: Groupe 3 : complexité forte

Valeur faible — Valeur moyenne — Valeur forte

Annexe 13. Comparaison analyse statistique – analyse à dire d'expert pour la composante de la rotation

Tableau 17: Tableau de comparaison des caractéristiques des trois groupes discernés par l'analyse statistique (ACP réalisée sous R commander) et l'analyse à dire d'expert

	Nombre moyen de cultures		Durée moyenne des rotations		Autres caractéristiques		Effectif	
	R	A dire d'expert	R	A dire d'expert	R	A dire d'expert	R	expert
groupe 1	3,8	3,5	1,9	1,7	couverts moyens	absence d'associations, nombreux couverts	9	7
groupe 2	X	6	X	2,6	nombreuses rotations (6)	nombreuses roations (4,4)	2	5
groupe 3	8,2	7,5	4	4,6	X	AB, associations,	6	5

Tableau 18: Tableau de comparaison entre l'analyse statistique et l'analyse à dire d'expert pour les données de trois agriculteurs et analyse au cas par cas

		AC2	AC10	AC9
analyse statistique	groupe	1	1	3
	nombre moyen de cultures	faible (3,8)	faible (3,8)	élevé (8,2)
	durée moyenne des rotations	courtes (1,9 ans)	courtes (1,9 ans)	longues (4 ans)
	nombre moyen des rotations	moyen	moyen	moyen
analyse à dire d'expert	groupe	2	2	2
	nombre moyen de cultures	élevé (6)	élevé (6)	élevé (6)
	durée moyenne des rotations	moyen (2,6 ans)	moyen (2,6 ans)	moyen (2,6 ans)
	Nombre moyen de rotations	élevé (3,8)	élevé (3,8)	élevé (3,8)
Réel	nombre de cultures	4	5	7
	durée rotations	3,4	2,5	2,5
	nombre de rotations	4	4	2

Légende :

: Groupe 1 : complexité faible

: Groupe 2 : complexité moyenne

: Groupe 3 : complexité forte

Tableau 19: Tableau de comparaison entre le classement réalisé à partir de l'analyse à dire d'expert et celui réalisé à partir de l'analyse statistique

	Analyse statistique	Analyse à dire d'expert	Après comparaison
AC1	1'	2	2
AC2	1	2	2
AB1	1	1	1
AC3	1	1	1
AC4	1	1	1
AC5	1	1	1
AC6	1	1	1
AC7	1	1	1
AC8	1	1	1
AB2	3	3	3
AB3	3	3	3
AC9	3	2	2
AB4	3	3	3
AC10	1	2	2
AB5	3	3	3
AC11	1'	2	2
AC12	3	3	3

Légende

= groupe 1

= sous-groupe 1'

= groupe 2

= groupe 3

- Ce qui distingue AC2 des exploitations du groupe 1 distingué par R est la durée de ses rotations, plus longues que les autres (3,4 ans contre 1,9 ans). Il présente cependant un nombre de cultures faible (4) et a donc été assimilé au groupe 1 par le logiciel. Outres ces deux variables principales, d'autres variables caractérisent les groupes 1 et 2. Cependant AC2 correspond à la fois aux autres caractéristiques du groupe 1, à savoir une absence d'associations et de nombreux couverts différents, et à la fois à celles du groupe 2 représentées par un nombre élevé de rotations. Cependant, nous avons choisit de donner moins de poids à la variable « Nombre de couverts » qu'à la variable « nombre de rotation ». De ce fait, AC2 est assimilé au groupe 2 car son nombre de rotation (4 différentes) est similaire à la moyenne de ce groupe (4,4).
- AC10 est entre deux groupes. Il se distingue des autres exploitations du groupe 1 désigné par R car il présente le nombre de cultures le plus élevé (5 cultures différentes contre en moyenne 3,8) et des rotations plus longues (2,5 ans contre 1,9 ans). Cependant le logiciel ne l'a pas assimilé aux groupes supérieurs car ses valeurs restent plus faibles que celles du groupe 2, gérant en moyenne six rotations au lieu de quatre pour AC10, et du groupe 3 qui conduit en moyenne 8,2 cultures avec des rotations de 4 ans. En revanche, AC10 correspond aux caractéristiques du groupe intermédiaire discerné à partir de l'analyse à dire d'expert. AC10 est donc classé parmi le groupe 2.
- Enfin, AC9 est à mi – chemin entre le groupe 2 et le groupe 3. Il possède en effet un nombre élevé de cultures (7 différentes), ce qui correspond aux moyennes des groupes 3 distingués par l'analyse statistique et à dire d'expert (respectivement 8,2 et 7,5). Or cette variable est considérée dans notre analyse comme la plus importante. Cependant pour AC9, même si la valeur du nombre de culture est plus proche de la moyenne du groupe 3 (7,5 cultures) elle reste peu éloignée de celle du groupe 2 (6 cultures). De même la durée des rotations est presque deux fois moins élevée que celle du groupe 3 (2,5 ans contre 4,6 dans le groupe 3). De plus AC9 n'effectue aucune association culturale à l'inverse des autres exploitants du troisième groupe. Nous choisissons donc d'assimiler AC9 au groupe 2.

Annexe 14. L'analyse statistique pour évaluer d'éventuels corrélations entre complexité de la rotation et disponibilité des ressources productives

Eigenvalues

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6
Variance	2.679	1.417	1.068	0.586	0.148	0.102
% of var.	44.645	23.610	17.808	9.760	2.472	1.705
Cumulative % of var.	44.645	68.255	86.063	95.823	98.295	100.000

Variables

	Dim.1	ctr	cos2	Dim.2	ctr	cos2	Dim.3	ctr	cos2
nbr.K	0.907	30.735	0.823	-0.158	1.754	0.025	0.182	3.116	0.033
nbr.asso	0.928	32.175	0.862	0.172	2.083	0.030	-0.064	0.378	0.004
nbr.couverts	-0.404	6.082	0.163	0.786	43.596	0.618	-0.255	6.104	0.065
nbr.asso.couvert	-0.065	0.158	0.004	0.772	42.049	0.596	0.413	15.966	0.171
durée.rotation	0.872	28.400	0.761	0.370	9.670	0.137	0.052	0.252	0.003
nbr.rotation	-0.256	2.450	0.066	-0.110	0.849	0.012	0.890	74.183	0.793

Supplementary continuous variables

	Dim.1	cos2	Dim.2	cos2	Dim.3	cos2
D.parcelle..km.	0.047	0.002	-0.194	0.038	0.838	0.701
Nbr.ilots	0.040	0.002	0.288	0.083	0.562	0.316
S.ilot..ha.	-0.155	0.024	-0.307	0.094	-0.342	0.117
SAU	-0.162	0.026	0.272	0.074	0.428	0.183
UTH.SAU	0.344	0.118	-0.122	0.015	-0.379	0.143
Nbr.opération.ETA	-0.434	0.188	0.214	0.046	0.020	0.000
mode.production	0.646	0.417	0.393	0.155	-0.140	0.020

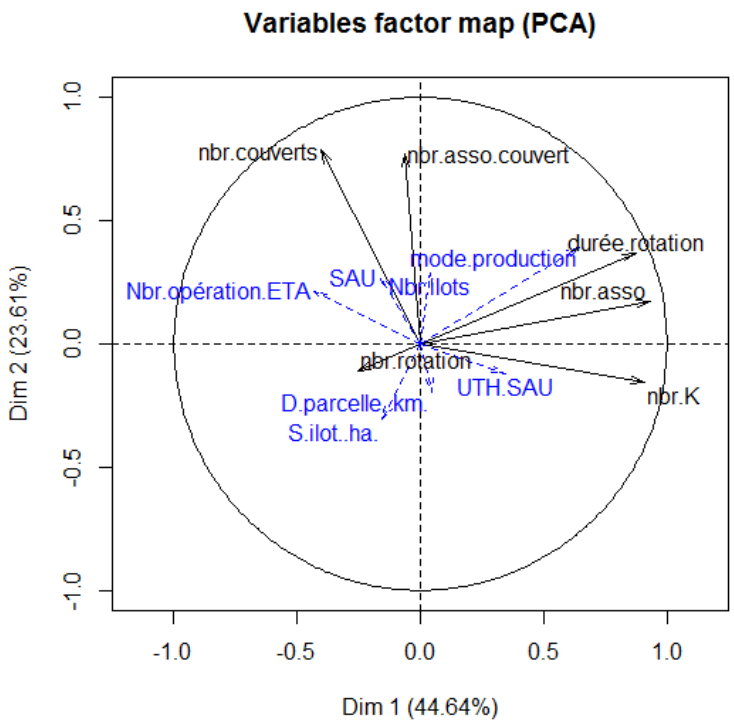


Figure 22: évaluation de la corrélation entre les variables ressources productives et rotation via l'ACP : matrice et graphique (réalisée à partir de R commander)

Annexe 15. Assolement d'exploitations types

AC1 effectue cinq rotations différentes afin d'adapter au mieux son assolement aux caractéristiques de son parcellaire éclaté (16 km entre la parcelle la plus éloignée et la ferme et 7 ilots).

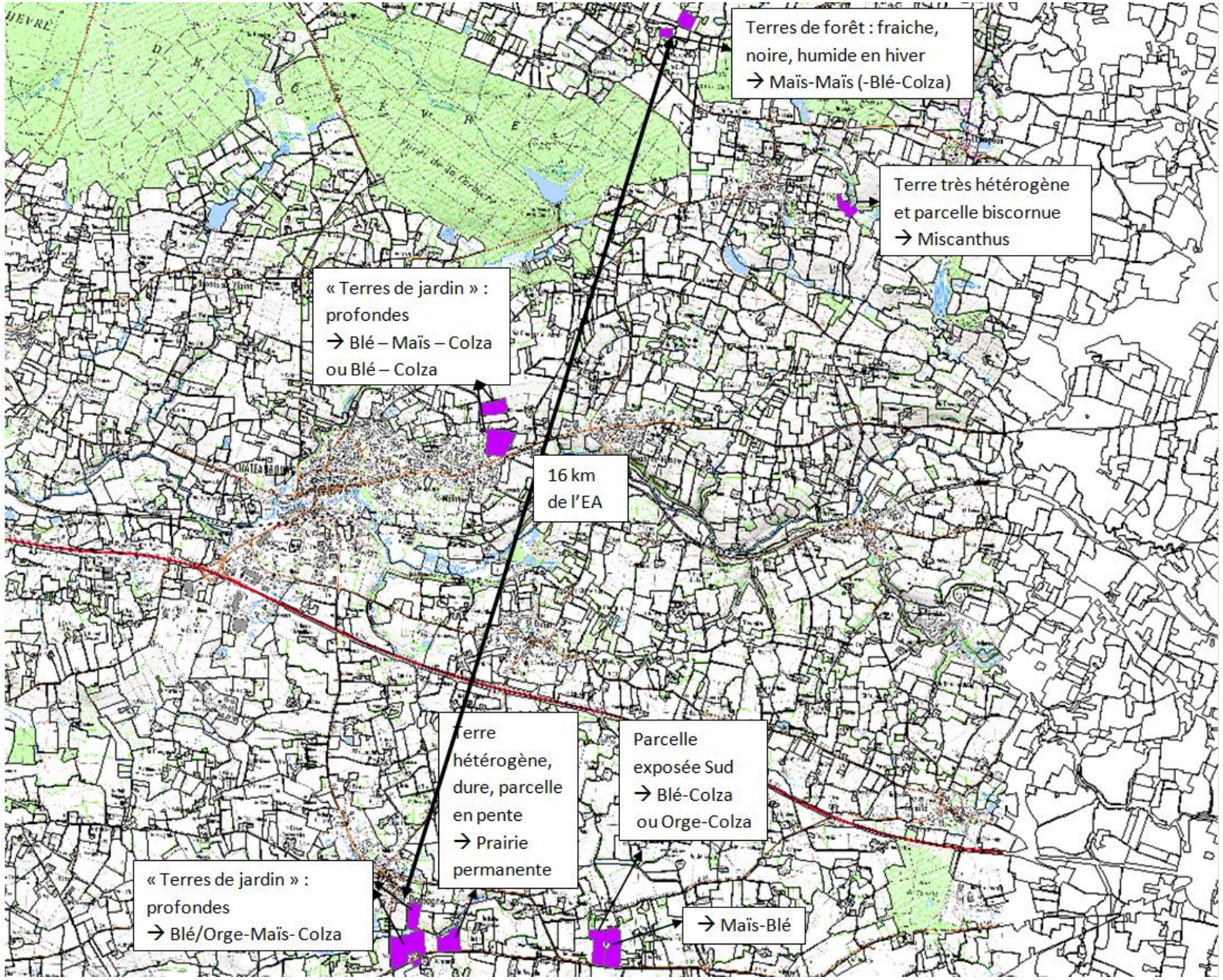


Figure 23: cartographie de l'assolement d'AC1

AC11 effectue sept rotations différentes afin d'adapter au mieux son assolement aux caractéristiques de son parcellaire éclaté (20 km entre la parcelle la plus éloignée et la ferme et 54 ilots).

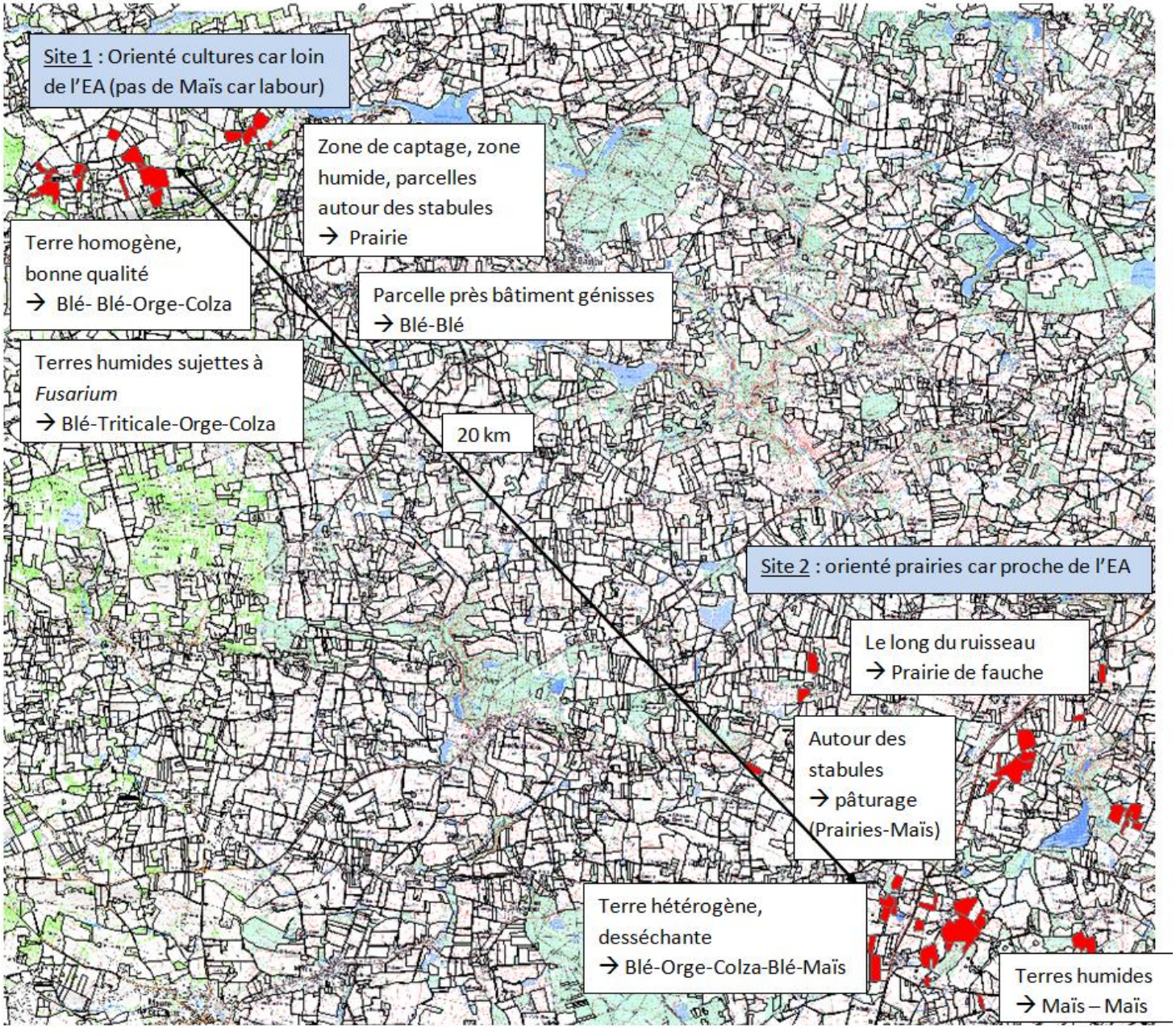
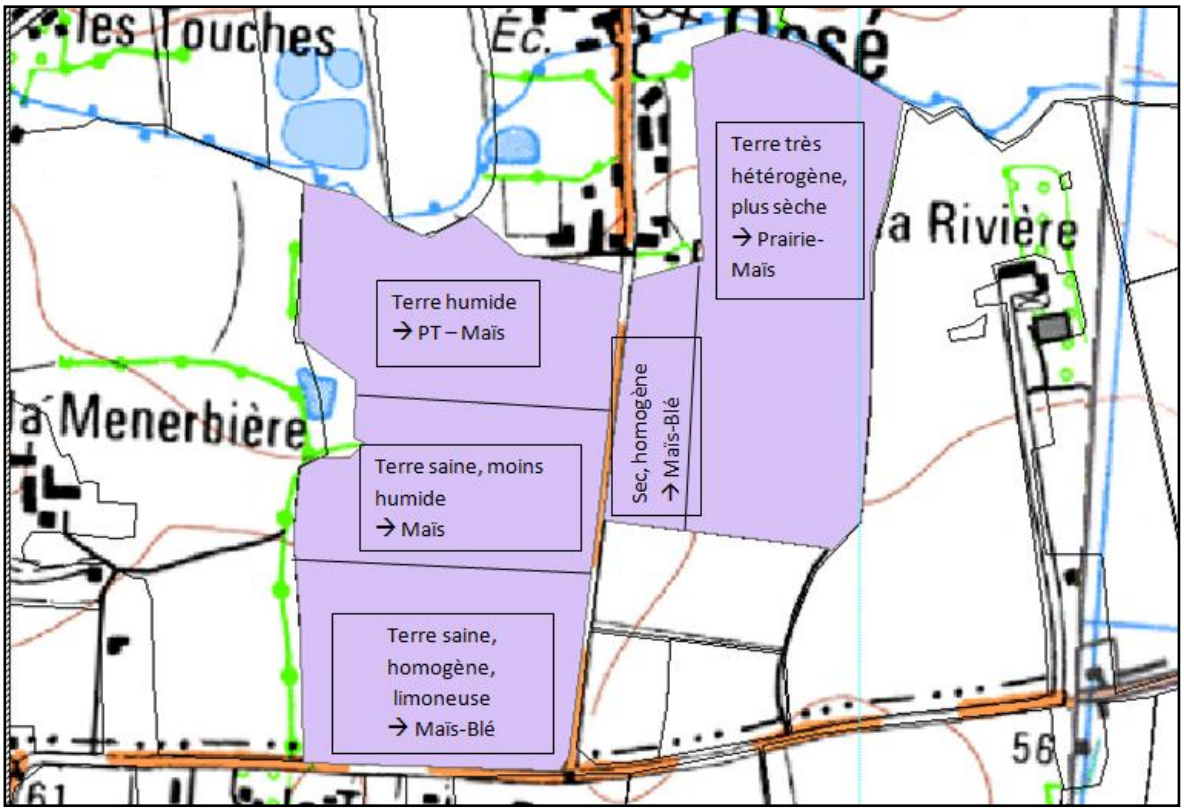


Figure 24: Cartographie d'assolement d'AC11



Des parcellaire regroupé comme AC3 et AC6 ont peu de rotations :
- en moyenne 2 rotations différentes contre 3,35 en moyenne pour l'échantillon,
- 500m de distance de l'exploitation à la parcelle la plus éloignée contre une moyenne d'échantillon de 6,55 km
- 2,5 ilots contre une moyenne d'échantillon à 14 ilots

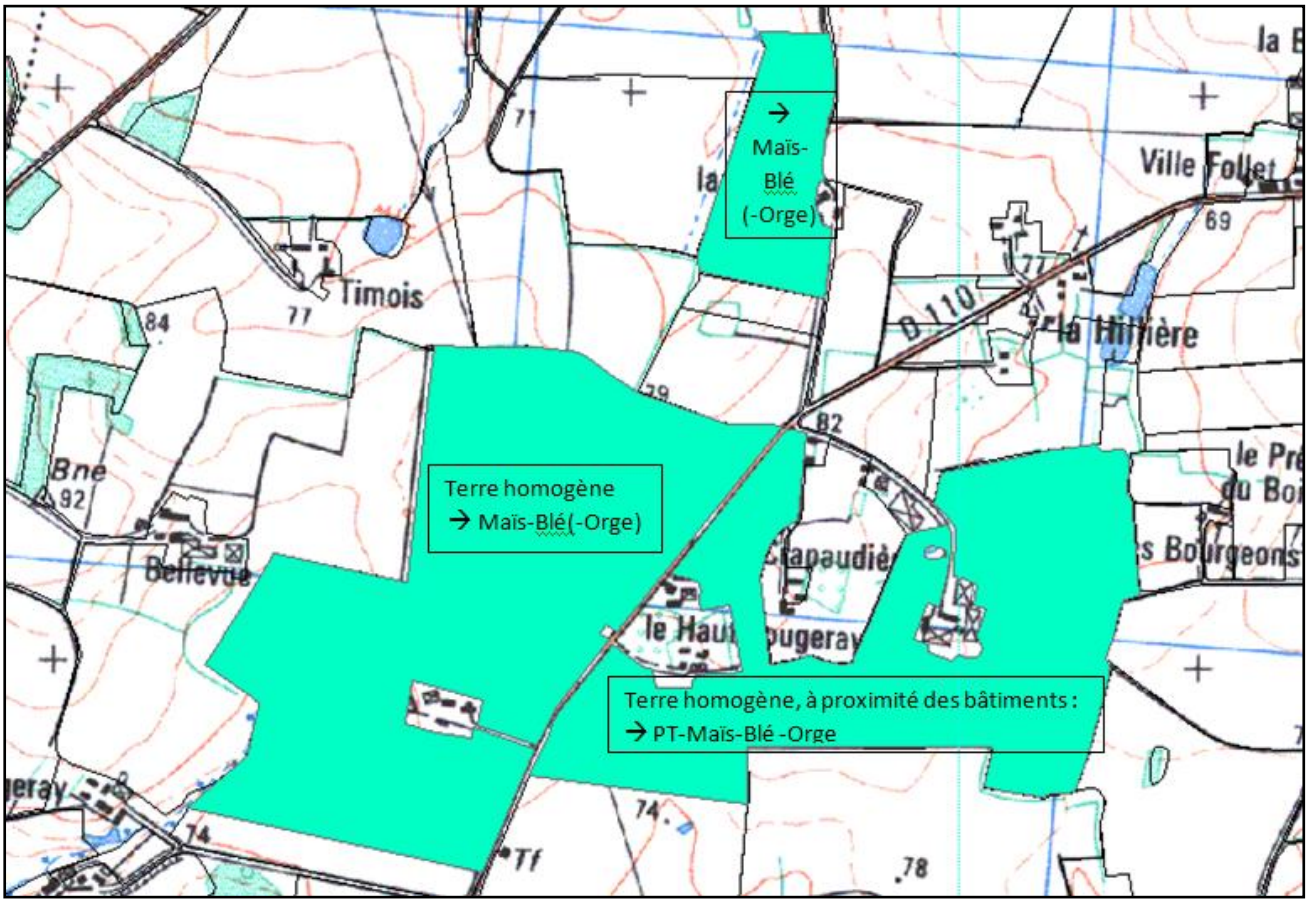


Figure 25: exemple de deux assolements (en haut AC3 et en bas AC6) d'un parcellaire peu complexe

Annexe 16. Les tableaux de résultats pour le deuxième paramètre de complexité : l'itinéraire technique, selon son aspect chronophage pour l'agriculteur

Tableau 20: Tableau de résultats pour évaluer la complexité de l'itinéraire technique en termes de nombre de passages effectués

Code agriculteurs	nombre de passage d'épandages et de traitements phytosanitaires (moyenne par culture et par an)			nombre de passage en travail du sol et fertilisation organique (moyenne par an)		
	nombre passages systématiques totaux	nombre passages optionnels	total nombre passages potentiels	nombre passages systématiques totaux	nombre passages optionnels	total nombre passages potentiels
AC1	2,33	2,67	5,00	2,00	1,33	3,33
AC2	3,50	2,00	5,50	0,50	2,00	2,50
AB1	0,00	0,00	0,00	2,00	2,33	4,33
AC3	3,50	1,50	5,00	0,50	1,50	2,00
AC4	4,50	2,00	6,50	1,50	0,00	1,50
AC5	3,50	2,00	5,50	1,50	1,50	3,00
AC6	2,75	1,00	3,75	2,00	1,50	3,50
AC7	3,00	2,00	5,00	1,50	1,50	3,00
AC8	4,00	1,50	5,50	3,00	1,50	4,50
AB2	1,00	0,00	1,00	4,50	2,00	6,50
AB3	0,00	0,00	0,00	4,57	1,57	6,14
AC9	3,00	0,50	3,50	4,00	0,00	4,00
AB4	0,00	1,00	1,00	1,75	3,00	4,75
AC10	3,00	2,00	5,00	1,67	0,33	2,00
AB5	0,00	0,00	0,00	3,20	1,20	4,40
AC11	5,50	2,50	8,00	2,00	0,50	2,50
AC12	2,33	2,33	4,67	1,00	1,67	2,67

Légende:

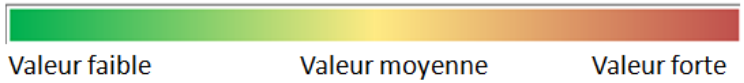


Tableau 21: Choix des classes pour le nombre de passage potentiels

Nombre passages potentiels	Code agriculteurs	Part apports chimiques (%)	Code agriculteurs
<7	AB1,AB3, AB4, AB5	Faible (<50%)	AB1, AB3, AB4, AB5
		Forte (>50%)	X
7 à 8	AC3, AC4, AC6, AC7, AB2, AC9, AC10, AC12	Faible (<50%)	AB2, AC9
		Forte (>50%)	AC3, AC4, AC6, AC7, AC10, AC12
>8	AC1, AC2, AC5, AC8, AC11	Faible (<50%)	X
		Forte (>50%)	AC1, AC2, AC5, AC8, AC11

Tableau 22: Choix des classes pour le nombre de passages systématiques

Nombre passages systématiques	Code agriculteurs	Part apports chimiques (%)	Code agriculteurs
0 à 3,99	AB1, AB4, AB5, AC12	Faible (<50%)	AB1, AB4, AB5
		Forte (>50%)	AC12
4 à 5	AC1, AC2, AC3, AC5, AC6, AC7, AB3, AC10	Faible (<50%)	AB3
		Forte (>50%)	AC1, AC2, AC3, AC5, AC6, AC7, AC10
>5	AC4, AC8, AB2, AC9, AC11	Faible (<50%)	AB2, AC9
		Forte (>50%)	AC4, AC8, AC11

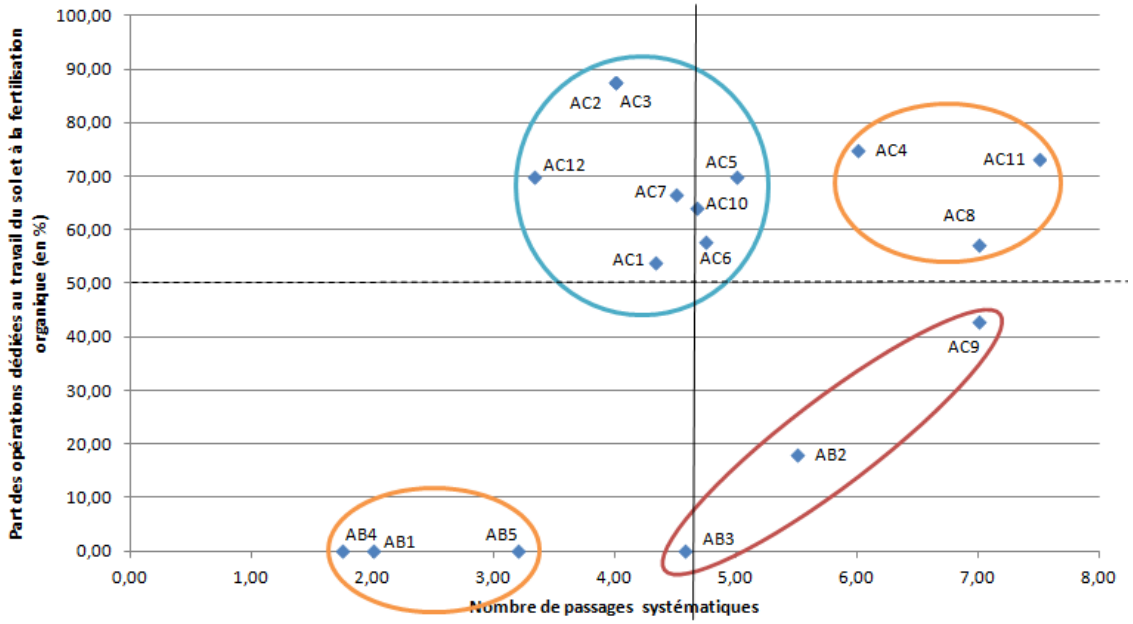


Figure 26: typologie selon la complexité de l'itinéraire technique sur la base du nombre de passages systématiques

Légende:

= groupe 1: itinéraire technique peu complexe du fait d'opérations peu chronophages :
- Exploitations effectuant peu de passages systématiques avec la majeure partie en apports chimiques (AC12)
- Exploitations effectuant un nombre moyen de passage systématiques avec la majeure partie en traitements phytosanitaires et fertilisation chimique (AC1, AC2, AC3, AC5, AC6, AC7, AC10)

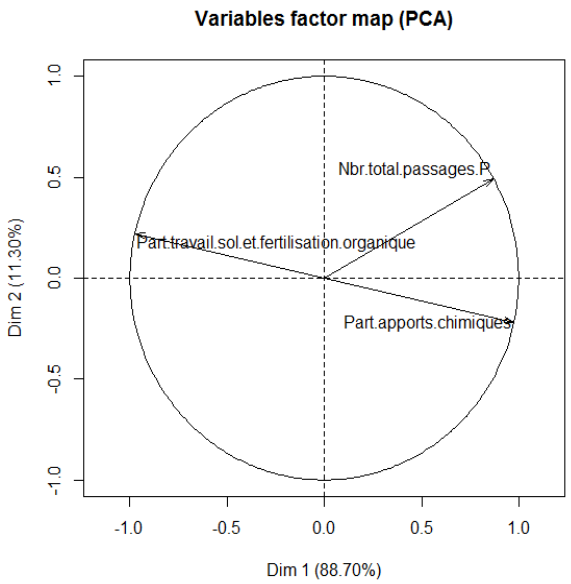
= groupe 2: itinéraire technique moyennement complexe du fait d'opérations moyennement chronophages :
- Exploitations effectuant peu de passages systématiques avec la majeure partie en travail du sol et fertilisation organique (AB1, AB4, AB5)
- Exploitations effectuant beaucoup de passages systématiques avec la majeure partie en apports chimiques (AC4, AC8, AC11)

= groupe 3: itinéraire technique complexe du fait d'opérations chronophages :
- Exploitations effectuant beaucoup de passages systématiques avec la majeure partie en travail du sol et fertilisation organique (AB2, AC9)
- Exploitations effectuant un nombre moyen de passage systématiques avec la majeure partie en travail du sol (AB3)

= médiane de l'échantillon

= seuil des 50%

Annexe 17. Les résultats statistiques pour l'analyse de la complexité de l'itinéraire technique selon l'aspect chronophage des interventions: figures et graphiques




```
Variables
                                                  Dim.1    ctr   cos2    Dim.2
Nbr.total.passages.P                            |  0.870 28.468  0.758 |  0.492
Part.apports.chimiques                          |  0.976 35.766  0.952 | -0.220
Part.travail.sol.et.fertilisation.organique     | -0.976 35.766  0.952 |  0.220
                                                    ctr   cos2    Dim.3    ctr
Nbr.total.passages.P                           71.532  0.242 |  0.000  0.000
Part.apports.chimiques                         14.234  0.048 |  0.000  0.000
Part.travail.sol.et.fertilisation.organique    14.234  0.048 |  0.000  0.000
                                                 cos2
Nbr.total.passages.P                            0.000 |
Part.apports.chimiques                          0.000 |
Part.travail.sol.et.fertilisation.organique     0.000 |
```

```
Eigenvalues
                        Dim.1   Dim.2   Dim.3
Variance                2.661   0.339   0.000
% of var.              88.703  11.297   0.000
Cumulative % of var.   88.703 100.000 100.000
```

Trois variables sont prises en compte dans l'ACP:

- le nombre total de passages potentiellement effectués
- la part des passages dédiés aux traitements phytosanitaires et à la fertilisation minérale
- la part des opérations dédiées au travail du sol et à la fertilisation organique.

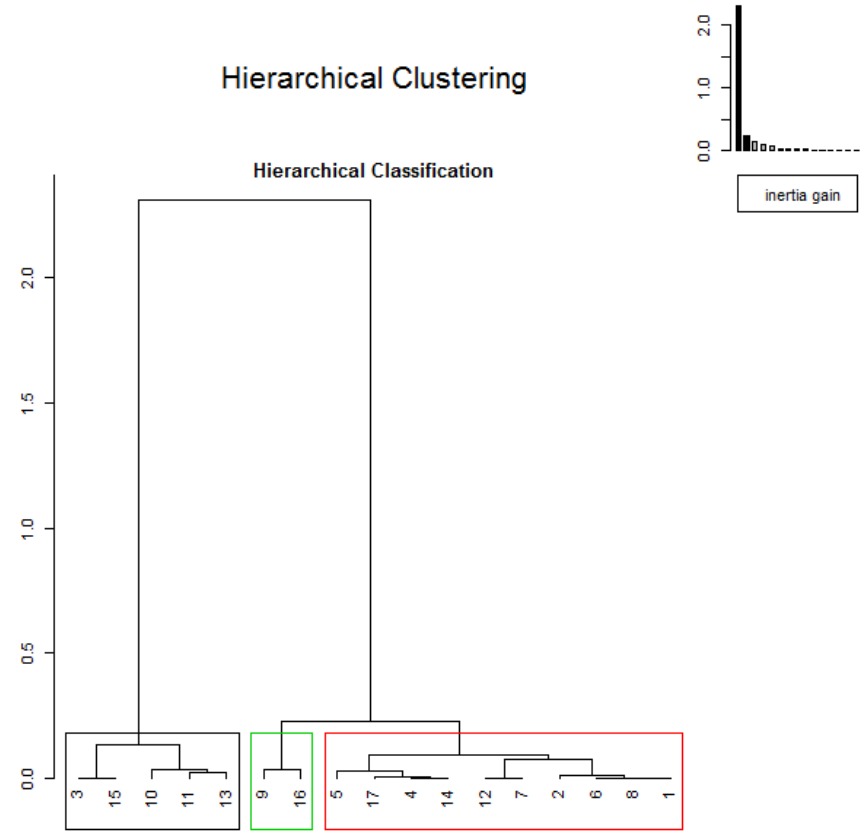
Ainsi, les variables expliquant moins de 33% de la variance ne sont pas jugées pertinentes.

Par conséquent, après l'ACP, l'axe 1 est celui expliquant le plus la diversité de l'échantillon (88, 70%). Il est caractérisé par les deux variables représentant la part dédiée aux différents types de travaux (35,77% chacune). L'axe 2, définit par le nombre total de passages potentiellement effectués (à 71,53%) ne contribue à l'explication que de 11,3% de la diversité de l'échantillon.

Figure 27: Contribution des trois variables du paramètre itinéraire technique à l'explication de la diversité de l'échantillon (ACP réalisée sous R commander)

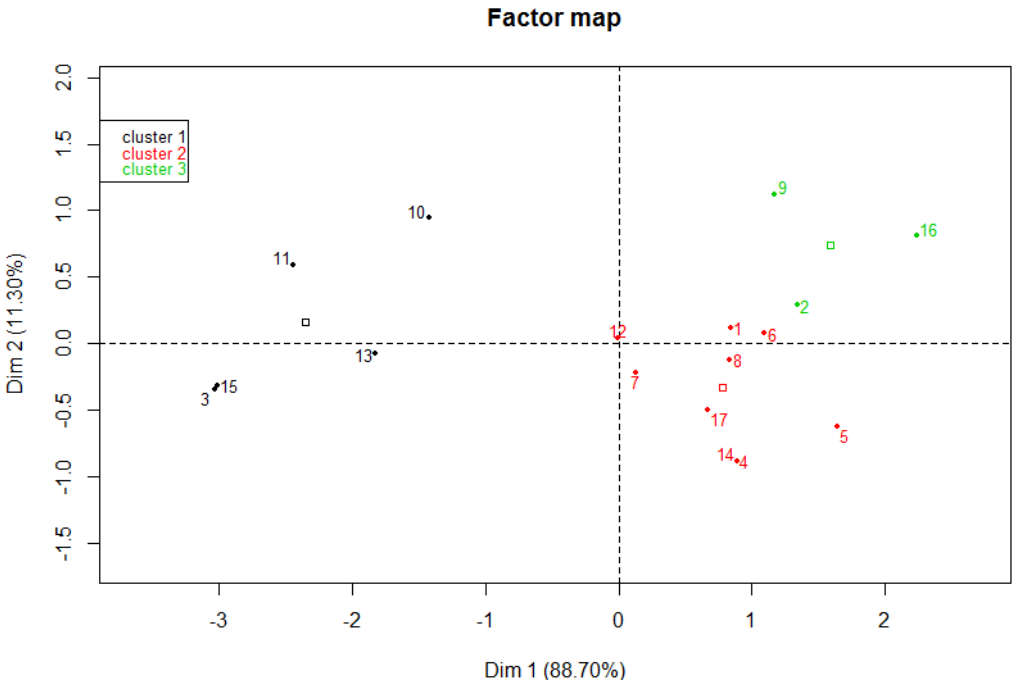
Tableau 23: Matrice décrivant les trois groupes après classification à partir de trois variables du paramètre itinéraire technique en prenant en compte les 2 axes principaux (ACP réalisée sous R commander) :

```
$quanti
$quanti$`1`
                                          v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd      p.value
Part.travail.sol.et.fertilisation.organique  3.783255        93.855072    52.828119       7.634587  27.999997 0.0001547905
Nbr.total.passages.P                        -2.893174         5.625238     7.443697       1.180547   1.622869 0.0038136962
Part.apports.chimiques                      -3.783255         6.144928    47.171881       7.634587  27.999997 0.0001547905

$quanti$`2`
                                          v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd    p.value
Part.apports.chimiques                       2.505065         63.70447     47.17188       9.872327         28 0.01224288
Part.travail.sol.et.fertilisation.organique -2.505065         36.29553     52.82812       9.872327         28 0.01224288

$quanti$`3`
                     v.test Mean in category Overall mean sd in category Overall sd     p.value
Nbr.total.passages.P 2.726497         9.833333     7.443697      0.6236096   1.622869 0.006401063
```



➢ **1er groupe:** itinéraire technique moyennement complexe.
Cinq exploitations en AB.

- nombre total de passages potentiels inférieur à la moyenne générale de l'échantillon : 5,63 passages contre 7,44
- part est dédiée au travail du sol et à la fertilisation organique supérieure à la moyenne générale de l'échantillon: 93,86% contre 52,83%
- part dédiée aux traitements phytosanitaires et à la fertilisation minérale inférieure à la moyenne générale de l'échantillon : 6,14% contre 47,17%).



➢ **2ème groupe**: itinéraire technique peu complexe. Neuf exploitations (AC1, AC3, AC4, AC5, AC6, AC7, AC9, AC10, AC12).

- faible part des travaux dédiée au travail du sol et à la fertilisation organique (part inférieure à la moyenne générale de l'échantillon : 36,30% contre 52,83%)
- forte part dédiée aux traitements phytosanitaires et à la fertilisation minérale supérieure à la moyenne générale de l'échantillon : 63,70% contre 47,17%).

➢ **3ème groupe**: itinéraire moyennement complexe.
Trois exploitations (AC8, AC2, AC11).

- Nombre total de passages potentiels supérieur à la moyenne générale de l'échantillon (9,83 passages contre 7,44).
- Part des opérations dédiées aux traitements phytosanitaires et à la fertilisation minérale supérieure à 50%.

Figure 28: Graphiques rendant compte de la classification en trois groupes à partir de trois variables du paramètre itinéraire technique en prenant en compte les 2 axes principaux (ACP réalisée sous R commander)

Annexe 18. Tableaux de résultats pour le deuxième paramètre de complexité : l'itinéraire technique, selon son aspect décisionnel

Tableau 24: Le nombre de passages optionnels:

Code agriculteurs	Nombre passages optionnels totaux
AC1	4,00
AC2	4,00
AB1	2,33
AC3	3,00
AC4	2,00
AC5	3,50
AC6	2,50
AC7	3,50
AC8	3,00
AB2	2,00
AB3	1,57
AC9	0,50
AB4	4,00
AC10	2,33
AB5	1,20
AC11	3,00
AC12	4,00
Moyenne	2,73

Légende:

Valeur faible — Valeur forte

Classes nombre de passages optionnels	Nombre moyen de passages optionnels	Code agriculteurs
0 à 2,99	2	AB1, AB2, AB3, AB5, AC4, AC6, AC9, AC10
3 à 4	4	AC1, AC2, AC3, AC5, AC7, AC8, AC11, AC12, AB4

Tableau 25 Comparaison entre les typologies basées sur l'aspect chronophage des travaux et le nombre de passages optionnels

Code agriculteurs	groupes basés sur l'aspect chronophage des travaux agricole	groupes basés sur le nombre de passages optionnels	groupes finaux après comparaison des deux typologies
AC1	1	2	2
AC2	1	2	2
AB1	2	1	2
AC3	1	2	2
AC4	1	1	1
AC5	1	2	2
AC6	1	1	1
AC7	1	2	2
AC8	2	2	3
AB2	3	1	2
AB3	2	1	2
AC9	1	1	1
AB4	2	2	3
AC10	1	1	1
AB5	2	1	2
AC11	2	2	3
AC12	1	2	2

Légende :

: Groupe 1 : complexité faible

: Groupe 2 : complexité moyenne

: Groupe 3 : complexité forte

Annexe 19. L'analyse statistique pour évaluer d'éventuelles corrélations entre complexité de l'itinéraire technique et disponibilité des ressources productives

```
Eigenvalues
                        Dim.1   Dim.2   Dim.3
Variance                2.037   0.706   0.257
% of var.              67.891  23.530   8.578
Cumulative % of var.   67.891  91.422 100.000
$cor
                          Dim.1      Dim.2       Dim.3
Nbr.total.passages.P   0.8820789 -0.3146152  0.35064802
Part.apports.chimiques 0.8980378 -0.2447937 -0.36551894
Nbr.total.passages.O   0.6724621  0.7395948  0.02818092

$contrib
                         Dim.1     Dim.2      Dim.3
Nbr.total.passages.P   38.20139 14.022061 47.7765459
Part.apports.chimiques 39.59621  8.488931 51.9148638
Nbr.total.passages.O   22.20240 77.489008  0.3085903

$cor
                       Dim.1       Dim.2        Dim.3
D.parcelle..km.     0.26428325 -0.15394073  0.264589202
Nbr.ilots           0.13935328 -0.49867679  0.196101717
S.ilot..ha.        -0.05563779  0.04206541 -0.223502030
SAU                 0.02986241 -0.75674712  0.001172756
UTH                -0.60442908 -0.33813316  0.332669707
UTH.SAU            -0.35348904  0.40089145  0.043769477
Matériel           -0.35885863 -0.16587998  0.108352184
Nbr.opération.ETA  -0.02170524 -0.05990319 -0.384597317
mode.production    -0.83620888  0.31418702  0.322707291
```

* Les variables Matériel et Mode de production ont été transformées en variables quantitatives.

Le chiffre 0 est attribué lorsque la majorité du matériel est en propre et 1 lorsque qu'elle est en commun (CUMA etc.). Le chiffre 1 est attribué aux exploitations en AC et le chiffre 2 aux exploitations en AB.

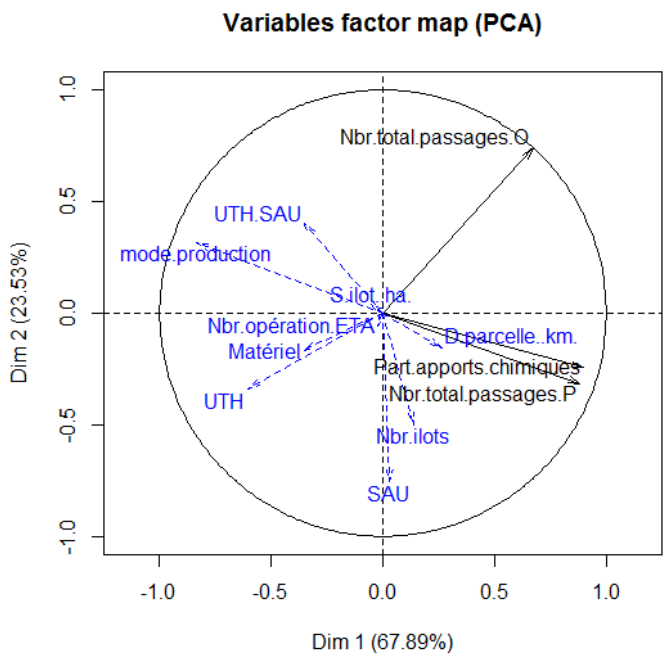


Figure 29: ACP réalisée à partir de trois variables actives caractérisant l'itinéraire technique et des variables illustratives caractérisant les ressources productives disponibles (ACP réalisée sous R commander)

Annexe 20. L'analyse statistique pour évaluer d'éventuelles corrélations entre complexité de la stratégie décisionnelle et disponibilité des ressources productives

Tableau 23: Corrélation de la complexité de la stratégie décisionnelle avec les ressources productives et le nombre de passages optionnels (matrice des corrélations réalisée à partir de R commander)

	SAU	UTH	UTH.SAU
D.parcelle..km.	0.31502846	-0.10098749	-0.33622420
grpe.décision	0.09273937	0.58845807	0.25639627
Matériel	0.07733260	0.31667284	-0.03194225
Nbr.ilots	0.69414734	0.04178703	-0.52085584
Nbr.opération.ETA	-0.03725197	0.02305870	0.08615498
Nbr.total.passages.O	-0.53957188	-0.64716227	0.06002273
S.ilot..ha.	-0.20936251	-0.01072768	0.12546606
SAU	1.00000000	0.20533455	-0.74328952
UTH	0.20533455	1.00000000	0.36135798
UTH.SAU	-0.74328952	0.36135798	1.00000000

	D.parcelle..km.	grpe.décision	Matériel	Nbr.ilots
D.parcelle..km.	1.00000000	0.07587566	-0.12298748	0.57373509
grpe.décision	0.07587566	1.00000000	0.43333333	0.15893306
Matériel	-0.12298748	0.43333333	1.00000000	0.04567042
Nbr.ilots	0.57373509	0.15893306	0.04567042	1.00000000
Nbr.opération.ETA	-0.23540885	-0.04375000	0.15104167	-0.14728710
Nbr.total.passages.O	0.07132307	-0.40825126	-0.36094935	-0.26958265
S.ilot..ha.	-0.48365435	-0.33042076	-0.28802920	-0.57970988
SAU	0.31502846	0.09273937	0.07733260	0.69414734
UTH	-0.10098749	0.58845807	0.31667284	0.04178703
UTH.SAU	-0.33622420	0.25639627	-0.03194225	-0.52085584

	Nbr.opération.ETA	Nbr.total.passages.O	S.ilot..ha.
D.parcelle..km.	-0.23540885	0.07132307	-0.48365435
grpe.décision	-0.04375000	-0.40825126	-0.33042076
Matériel	0.15104167	-0.36094935	-0.28802920
Nbr.ilots	-0.14728710	-0.26958265	-0.57970988
Nbr.opération.ETA	1.00000000	-0.06973835	0.46072841
Nbr.total.passages.O	-0.06973835	1.00000000	-0.01260144
S.ilot..ha.	0.46072841	-0.01260144	1.00000000
SAU	-0.03725197	-0.53957188	-0.20936251
UTH	0.02305870	-0.64716227	-0.01072768
UTH.SAU	0.08615498	0.06002273	0.12546606

* La stratégie décisionnelle a été transformée en variable quantitative (variable "grpe.decision") en assimilant chaque exploitation à leur numéro de groupe : 1 pour le groupe à la stratégie décisionnelle peu complexe, 2 pour le groupe à la stratégie décisionnelle moyennement complexe et 3 pour le groupe à la stratégie décisionnelle complexe.

Tableau 24 : moyenne des variables illustratives corrélée à la stratégie décisionnelle pour chaque groupe d'agriculteur

groupe	agriculteurs selon la stratégie décisionnelle	moyenne UTH	proportion d'agriculteurs dont la majorité du matériel est en propre	nombre de passages optionnels
groupe 1	**AC1, AC2**, AC3, AC4, AC6, **AC12** et AC8	1,79	71,43%	3,21
groupe 2	AC5, AC7, AC9, AC10 et **AC11**	2,10	40,00%	2,57
groupe 3	**AB1, AB2, AB3, AB4, AB5**	2,76	20,00%	2,22

Auteur: Lucile BRETIN Année: 2014 - 2015 Confidentiel: non

THEME: Recherche et développement

Les systèmes de cultures favorables à l'expression de la régulation biologique
Caractérisation de ces systèmes et de leur complexité de mise en œuvre

Mots clés: régulation biologique, système de culture, rotation culturale, itinéraire technique, stratégie décisionnelle, agriculture biologique

Dans un contexte de réduction de l'utilisation des produits phytosanitaires, la régulation biologique par conservation apparaît comme un service d'intérêt pour l'agriculture. Cependant, mieux le prendre en compte dans la stratégie des agriculteurs nécessite de bien caractériser l'impact des systèmes de culture sur la régulation biologique ainsi que la complexité de leur mise en œuvre. Sur la base d'enquêtes auprès de 17 agriculteurs en agriculture biologique et conventionnelle de l'Ille-et-Vilaine et en mobilisant des observations biologiques, nous avons pu identifier que les systèmes de cultures favorables à la régulation biologiques sont majoritairement en agriculture biologique, traduisant l'impact positif de l'absence de recours aux intrants chimiques pallié par une combinaison de pratiques. La fertilisation organique ainsi que l'allongement et la diversification des rotations sont notamment des pratiques qui semblent avoir un impact positif d'importance sur la régulation biologique. Cet effet des pratiques peut également être influencé par le paysage. Par ailleurs, ces systèmes de cultures favorables à la régulation biologique sont plus complexes à mettre en œuvre, plus particulièrement au niveau de leur rotation et de la stratégie décisionnelle générale de l'agriculteur. Mais cette complexité est surtout due au mode de production biologique. Enfin, plusieurs éléments conditionnent la mise en place de pratiques favorables à la régulation biologique et la complexité du système de culture. Ainsi l'accès aux ressources productives (main d'œuvre, parcellaire, matériel) et les objectifs de l'agriculteur, tant généraux que vis-à-vis de pratiques spécifiques, sont les principales raisons expliquant leurs choix.

Favorable cropping systems to biological regulation
Characterization of these systems and their establishment complexity

Key words: biological control, cropping systems, crop rotation, crop management sequence, decision-making strategy, organic farming

In a context of a decrease utilization of chemical inputs, biological control by conservation appears to be an interesting service for agriculture. However, to be better taken into account by farmers in their strategy, it requires to characterize thoroughly the impact of cropping systems on biological control and their establishment complexity. Based on 17 interviews to farmers in conventional and organic farming in Ille-et-Vilaine (Brittany, France) and biological measurements, we could identify that conducive cropping systems to biological regulation are mostly in organic farming, pointing out the positive impact of chemical inputs absence compensated by a set of practices. Organic fertilization and diverse and long crop rotation are also practices which sound like having an important positive impact on biological control. This effect of practices can besides be influenced by landscape. Furthermore, favorable cropping systems to biological control are more complex to set up. This complexity is particularly related to crop rotations and farmer's global strategy. But this complexity is especially due to the organic production methods. Last but not least, several factors can conducive practices to biological control implementation by farmers and complexity of their cropping system. Thus, productive resources availability (such as labor, lands, equipment) and farmer's objectives, as much general objectives as specific ones regarding a practice, are the main factors which can explain their choices.

Nombre total de volumes :1
Nombre total de pages du document principal: 67

Demandeur: Institut National de la Recherche Agronomique, unité SAD - Paysage de Rennes