



Mémoire de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Mention : Agronomie et Agroalimentaire (AAA)

Parcours : Productions Animales en Régions Chaudes (PARC)

**CARACTERISATION DES DIFFERENTES FORMES DE
POLYCULTURES-ELEVAGES AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION
ET DU TERRITOIRE**

Par : Elias Romélio RASAMBATRA

Année de soutenance : 2015

Organisme d'accueil : INRA de Rennes UR SAD Paysage / RMT SPyCE

Mémoire de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Mention : Agronomie et Agroalimentaire (AAA)

Parcours : Productions Animales en Régions Chaudes (PARC)

**CARACTERISATION DES DIFFERENTES FORMES DE
POLY CULTURES-ELEVAGES AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION
ET DU TERRITOIRE**

par Elias Romélio RASAMBATRA

Année de soutenance : 2015

Organisme d'accueil : INRA de Rennes - UR SAD Paysage / RMT SPyCE

Présenté le : 21/09/2015

devant le jury :

Président du jury : Charles-Henri Moulin

Rapporteur principal : Eliel Gonzalez-Garcia (INRA - UMR SELMET)

Rapporteur enseignant : Claire Aubron

Maître de stage : Gilles MARTEL

Tuteur enseignant : Fabien Stark

RÉSUMÉ

Caractérisations des différentes formes de polycultures-élevages au niveau de l'exploitation et du territoire

Mots clés

: caractérisation, classification, polyculture-élevage, diversité, intégration, exploitation, territoire

L'absence de consensus autour d'une définition de la polyculture-élevage (PCE) aussi bien dans la littérature scientifique que par les acteurs du réseau mixte technologique systèmes de polyculture élevage (RMT SPyCE) conduit à revenir à la définition la plus large. Celle-ci stipule que la PCE est un système combinant cultures et élevage et recouvre donc une grande variété de système. Mieux caractériser les différentes formes de la polyculture-élevage est l'objet principal de ce stage de Master. Le stage s'est déroulé en deux phases. La première a visé à proposer une grille pour caractériser la PCE aux niveaux de l'exploitation et du territoire à partir d'une analyse de la bibliographie et d'entretiens avec des porteurs de projets sur la PCE. La seconde a permis de tester la grille en réalisant des enquêtes auprès de 13 exploitants agricoles d'une même commune. Suite à la consultation d'une cinquantaine d'articles sur la PCE et de 7 porteurs de projets en cours s'intéressant à la caractérisation de la PCE, une première version de la grille a été proposée aux membres du RMT SPyCE. Elle a été enrichie grâce aux commentaires de ces membres lors de 2 réunions. Au final, je propose une grille de caractérisation composée de 14 indicateurs de diversité, 20 indicateurs d'intégration et 14 indicateurs de complémentarité propre au territoire, tous hiérarchisés selon une logique d'accessibilité de la donnée et du sens agronomique de l'indicateur. La grille a ensuite fait l'objet d'une phase d'enquête pour son application au niveau d'une commune : Monterfil. Les données ainsi recueillies sur les 13 exploitations de ce territoire a permis d'avoir la valeur des 44 indicateurs existants dans la commune, sur les 48 variables de départ. Des analyses factorielles (ACP, AFDM) suivies de classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) sur 11 exploitations parmi les 13, ont permis de répartir les exploitations dans des classes reflétant la diversité de notre échantillon. L'analyse conjointe des indicateurs de diversité et d'intégration a produit des axes explicatifs mélangeant les deux types d'indicateurs là où les outils de caractérisation publiés jusqu'à présent considèrent toujours les deux dimensions séparément. L'analyse à l'échelle du territoire révèle que celui-ci semble être très diversifié et assez autonome, même s'il n'est pour le moment pas possible de le comparer à d'autres territoires. Malgré la taille de l'échantillon, la grille et la méthode de classification ont permis de discriminer les exploitations qui d'après leur structure et leur fonctionnement s'avèrent différentes. De plus amples investigations sont nécessaires pour améliorer la grille et pour pouvoir généraliser les résultats issus de son application.

ABSTRACT

Title : Characterization of various forms of mixed crop-livestock at the farm and territory levels

Key words

: Characterization, classification, mixed crop-livestock, diversity, complementarity, farm, territory

classification, mixed crop-livestock, diversity, complementarity, farm, landscape

The lack of consensus on a definition of mixed crop-livestock systems (MCL) in the scientific literature and by actors of the technological mixed network “systèmes de polyculture-élevage” (RMT Spyce) leads to return to the broader definition. This stipulates that the MCL is a system which combines crops and livestock. This definition covers a wide variety of systems. Better characterization of the various forms of MCL is the main purpose of this Master internship. The internship has been organized in two phases. The first aimed to propose a grid to characterize MCL at farm and territory levels by analyzing the literature and interviewing leaders of projects on MCL. The second was dedicated to the test of the grid by conducting inquiries among 13 farmers in the same township. Following consultation of fifty articles on MLC and 7 actors of ongoing projects interested in the characterization of the MCL, a first version of the grid was proposed to members of the RMT Spyce. It was then enriched by the comments of the RMT members at two meetings. Finally, I propose a grid of characterization composed by 14 indicators of diversity, 20 indicators of integration and 14 indicators of complementary at the landscape scale. All of them are prioritized according to data accessibility and agronomical meaning of the indicator. The grid was then the subject of an inquiry phase for its implementation in the township of Monterfil. The data collected on 13 farms in this area allowed to have the value of 44 (among 48 available in the grid) indicators existing in the township. Factor analysis (PCA, MDFA) followed by ascending hierarchical classification (AHC), allowed to divide farms into classes that reflect the diversity of our sample. Joint analysis of indicators of diversity and indicators of integration has produced explanatory axes mixing the two types of indicators where characterization tools published so far still consider the two dimensions separately. The analysis across the township reveals that the farms are complementary, producing a very diverse and fairly autonomous area. However it is currently not possible to compare it to other territories due to the lack of data. In conclusion, despite the sample size, the grid and the classification method allowed to discriminate farms according to their structure and their functioning as expected. Further investigations are needed to improve the grid and to generalize the results from its application.

Remerciements

Mes sincères remerciements vont à mon maître de stage, Gilles Martel, pour m'avoir choisi pour faire le stage, de m'avoir pris sous ses ailes durant la période de stage. Merci de m'avoir guidé pendant toutes les étapes de la réalisation du stage et de m'avoir initié au travail de chercheur. Les encouragements m'ont été précieux.

Un grand merci aux membres du RMT SPyCE, d'abord de m'avoir choisi comme stagiaire et de m'avoir confié ce travail qui est très important (pour mon expérience et pour le RMT). Et merci aussi pour les échanges (échanges téléphoniques, échanges de documents, réunions). Ils m'ont été utiles pour mener à bien le travail que j'ai fait.

Je remercie encadrants, Fabien Stark et Charles-Henri Moulin, merci d'avoir été patient avec moi, cela a été un honneur de travailler avec vous.

Je tiens aussi à remercier toute l'équipe pédagogique de la formation ELMIDI/PARC de Montpellier SupAgro. Merci d'avoir fait en sorte que la formation soit un point d'étape important dans notre vie.

Je remercie également le personnel (administratif, stagiaires, thésards, chercheurs, ingénieurs) de l'unité SAD Paysage de l'INRA de Rennes. Merci de m'avoir accueilli au sein de votre unité, merci pour votre sympathie, et de l'ambiance agréable que j'ai vécue durant ces 6 mois de stage.

Je remercie également les porteurs des projets que nous avons sollicités pour construire la grille de caractérisation de la polyculture-élevage. Merci de nous avoir donné votre avis sur la question, de nous avoir mis en lumière sur les travaux que vous menez ou avez menés sur la caractérisation de la polyculture-élevage. Merci aussi pour les documents fournis.

Je remercie la mairie de Monterfil d'avoir collaboré dans la phase de terrain de ce stage. Merci aussi à Christophe Codet de nous avoir mis en contact avec la mairie de Monterfil. Je remercie Hugues Boussard et Julien Deniau pour m'avoir aidé sur les traitements de géomatique.

Mes remerciements vont aussi aux agriculteurs qui ont acceptés l'enquête. Merci de nous avoir accordé du temps et de l'effort pour nos questionnaires.

Glossaire

Caractérisation : étude des caractères distinctifs d'un système

Economie de gamme : gain de production ou de coût de production via la pratique de plusieurs ateliers de production (Institut d'élevage, 2011).

Efficience : le rapport entre les résultats obtenus et les ressources mobilisées

Evaluation : étude des performances d'un système

Exploitation agricole : unité économique de production agricole qui répond à des certaines conditions : la pratique de production ou de maintien des terres, sur une certaine dimension (20 ares de cultures spécialisées, ou 1 vache ou 6 brebis), et une gestion indépendante d'autre unité.

Indicateurs : les indicateurs de caractérisation de la polyculture-élevage sont des critères qui renseignent sur le niveau de diversité ou d'intégration

Prairies temporaires : surfaces composées des plantes herbagères fourragères, contenant au moins 20% de graminée semée. Au-delà de 7 ans, ces prairies ne sont plus considérées comme temporaires, et deviennent des **prairies permanentes**.

Résilience : la capacité d'un système à faire face aux perturbations et aux fluctuations

Surface Agricole Utile : superficie des terres arables, des surfaces toujours en herbe et les cultures.

OTEX : Orientation Technico-Economique, classification au niveau européen des exploitations agricoles dans le but de les répartir selon leur spécialisation et leur dimension.

Sigles et acronymes

ACP	Analyse en Composante Principale
AFDM	Analyse Factorielle de Données Mixtes
AOC	Appellation d'Origine Contrôlée
CADI	Crops and Animal Diversity and Integration
CAH	Classification Ascendante Hiérarchique
CANTogether	Crops and Animals Together
CASDAR	Compte d'Affectation Spéciale Développement Agricole Rural
DI	Diversité des Îlots
DOM	Départements d'Outre-mer
EA	Exploitation Agricole
EARL	Exploitation Agricole à Responsabilités Limitées
GAEC	Groupement Agricole d'Exploitation en Commun
OMC	Organisation Mondiale du Commerce
OTEX	Orientations Technico-économique d'Exploitations agricoles
PAC	Politique Agricole Commune
PCE	Polyculture-élevage
PP	Prairie Permanente
PT	Prairie Temporaire
RFD	Recherche-Formation-Développement
RED-SPYCE	Résilience, Efficacité et Durabilité des Systèmes de Polyculture-Elevage
RMT	Réseau Mixte Technologique
RPG	Registre Parcellaire Graphique
SAD	Sciences et Actions pour le Développement
SAU	Surface Agricole Utile
SCEA	Société Civile d'Exploitation Agricole
SPyCE	Systèmes de PolyCulture-Elevage
UGB	Unité de Gros Bétail

Table des matières

Remerciements	6
Glossaire	7
Sigles et acronymes	8
Introduction.....	11
1) Contexte du stage, enjeux et problématique.....	13
1.1 Importance accordé à la polyculture-élevage en Europe et en France	13
1.2 Etat actuel de la recherche sur la polyculture-élevage	13
1.2.1 Généralité de la recherche sur la polyculture-élevage	13
1.2.2 Divergence d'opinions autour de la définition de la polyculture-élevage	13
1.2.3 Etat actuel de la question de caractérisation de la polyculture-élevage	14
1.3 RMT SPyCE et UR SAD Paysage	14
1.4 Place de la caractérisation dans le travail du RMT.....	15
2) Matériels et Méthodes.....	15
2.1 Méthodologie générale	15
2.1.1 Conception de la grille.....	15
2.1.2 Test de la grille.....	16
2.2 Construction de la grille	16
2.2.1 Sélections des indicateurs	16
2.2.2 Les méthodes de calcul des indicateurs	18
2.3 Affinage de la grille.....	18
2.3.1 Consultation du réseau SPyCE.....	18
2.3.2 Affinage des méthodes de calculs.....	19
2.4 Application de la grille	19
2.4.1 La commune de Monterfil.....	19
2.4.2 Déroulement des enquêtes.....	19
2.5 Traitement de données	20
2.5.1 Construction du tableau de données	20
2.5.2 Analyses factorielles	20
3) Résultats	21
3.1 Les versions successives de la grille.....	21
3.2 Description de la grille.....	21
3.2.1 Les indicateurs.....	21
3.2.2 Formules pour le calcul de quelques indicateurs.....	24
3.3 Accessibilité des informations en enquête	25

3.4	Caractéristiques des exploitations et du territoire témoin	25
3.4.1	Résultats des enquêtes.....	25
3.4.2	Résultats bruts des calculs d'indicateurs.....	26
3.4.3	Résultat de l'étude des axes factoriels.....	26
3.4.3	Les différents types d'exploitations agricoles	30
3.4.4	Caractéristiques du territoire	36
4)	Discussions	37
4.1	Discussion sur la méthode adoptée	37
4.1.1	La démarche d'élaboration de la grille.....	37
4.1.2	La méthode d'enquête	37
4.1.3	Le choix et le calcul des indicateurs	38
4.1.4	Typologie des exploitations.....	38
4.2	Discussion sur les résultats obtenus.....	39
4.2.1	Les résultats obtenus en rapport avec les résultats attendus	39
4.2.2	Le passage du niveau exploitations vers le niveau territoire.....	40
4.3	La portée de la grille et les points à améliorer	40
	Conclusion	41
	Liste des figures.....	45
	Liste des tableaux.....	45
	Annexes	46

Introduction

La fonction première de l'agriculture mondiale est d'approvisionner l'humanité en nourriture. Cependant l'agriculture actuelle est confrontée à un défi qui conduit à se poser des questions sur sa capacité à remplir ce rôle, notamment sur le long terme. En effet, la population mondiale atteindra bientôt 9 milliards d'habitants (plus de bouches à nourrir avec, moins de surfaces disponibles) (Wright *et al.*, 2011 ; Wery, 2012). En outre, l'agriculture par sa consommation de ressources (eaux, fertilisants, énergies, etc.) et ses rejets, est l'un des secteurs à impacts environnementaux les plus élevés (Pujol et Dron, 1998 ; FAO-LEAD, 2006). En plus, elle doit faire face aux effets du changement climatique. Ainsi, l'agriculture que nous connaissons aujourd'hui est contrainte à évoluer pour répondre à toutes ces problématiques. Mais dans quel sens ou de quelle manière ce changement doit s'effectuer ?

En France, malgré des conditions climatiques tempérées, l'agriculture n'est pas à l'abri des problématiques d'ordre mondiale telle que la raréfaction des ressources et donc à l'augmentation de leurs prix (Mischler *et al.*, 2015). De plus l'agriculture française s'est beaucoup spécialisée suite à la révolution agricole des années 50 (sous l'influence de la PAC, de l'OMC, des innovations technologiques, et techniques) (Ryschawy *et al.*, 2014b). Elle a été pendant longtemps focalisée sur la maximisation de la fonction de production. Cette spécialisation liée à l'intensification de l'agriculture induit des impacts environnementaux considérables (David, 2000 ; Lemaire *et al.*, 2014 ; Peyraud *et al.*, 2014). Les problèmes les plus alarmants sont sans doute ceux liés à la contamination par des polluants des eaux souterraines et de surfaces ainsi que la perte de biodiversité dans les milieux agricoles.

Outre l'intensification et la spécialisation à l'échelle de l'exploitation, certaines régions (bassins de production) se sont aussi spécialisées, favorisant une concentration géographique des productions (Daniel, 2003). Cette situation conduit à une faible interconnexion des exploitations au sein d'un territoire donné, et à une disparition des exploitations de polyculture-élevage (Mignolet *et al.*, 2012 ; Masero, 2015). Or la littérature mentionne souvent que l'intégration de l'agriculture et de l'élevage au sein d'un seul agrosystème, à l'instar de la polyculture-élevage (PCE), est une alternative pour un développement durable de l'agriculture (Ryschawy *et al.*, 2012 ; Bonaudo *et al.*, 2014, Lemaire *et al.*, 2014). Mais malgré les vertus théoriques de la PCE, ces systèmes continuent de disparaître. Selon la classification OTEX, les systèmes mixtes de la France métropolitaine représentaient 19,6% en 1988 et 12,4% en 2010, ce qui fait une réduction de 7% sur durée de 22 ans (GrapAgri, 2012). De plus certains articles montrent que les systèmes de PCE *in situ* n'ont pas tous des performances environnementales meilleures que les systèmes spécialisés (Bell et Moore, 2010 ; Veysset *et al.*, 2014).

Malgré plusieurs travaux de recherche portant sur la polyculture-élevage, il y a un manque de consensus sur la définition du terme (Ramonteu *et al.*, 2014 ; Ryschawy *et al.*, 2014a ; Sneessens *et al.*, 2014). Ainsi, la définition la plus acceptée est celle qui est la plus englobante (Ryschawy *et al.*, 2014a ; Sneessens *et al.*, 2014), résumant les exploitations de polyculture-élevage à celles combinant à la fois des productions animales et des productions végétale (Van Keulen et Schiere, 2004 ; Communiqué de presse SPCET, 2013 ; Ryschawy *et al.*, 2014a). Pourtant cette définition est peu discriminante. En effet, si nous considérons cette définition, la quasi-totalité des exploitations d'élevage de France sont en polyculture-élevage [excepté celles basées uniquement sur le pastoralisme (ressources non cultivées) et l'élevage hors sol (pas de surface agricole en dehors des bâtiments d'élevage)].

Il y a un manque de définition « opérationnelle » (Ryschawy *et al.*, 2014a) . La polyculture-élevage englobant dès lors une grande diversité d'exploitations (Stark *et al.*, 2010 ; Ryschawy *et al.*, 2014a ; Sneessens *et al.*, 2014) nous emmène à revoir les critères de caractérisation des systèmes de polycultures-élevage. La caractérisation doit en effet faciliter la compréhension des systèmes polyculture-élevage pour en faciliter la comparaison (Sneessens, 2015). Deux axes de caractérisation ont été définis jusqu'à présent : la diversité et l'intégration (Chambaut, 2012). Mais la caractérisation est finalement peu souvent réalisée (Rufino *et al.*, 2009), les projets autour de la polyculture élevage se concentrant principalement sur les performances économiques et environnementales des exploitations. Ces études ne permettent donc pas de tirer des conclusions autour de la PCE, les exploitations étudiées n'étant pas forcément au même niveau d'intégration ou de diversité entre elles.

Suite aux travaux du RMT SPyCE sur la définition de la PCE, le travail présenté dans ce mémoire vise à **proposer et tester une grille de caractérisation de la polyculture-élevage aux niveaux exploitation et territoire.**

Sous l'hypothèse générale qu'**il y a une diversité de systèmes de polyculture-élevage dans un territoire** ; nous posons en sous-hypothèse qu'il est possible de caractériser des systèmes de productions par des approches qualitative et quantitative de leur niveau de diversité et d'intégration, des cultures et des animaux (Stark *et al.*, 2010 ; Chambaut, 2012 ; Moraine *et al.*, 2014 ; Sneessens *et al.*, 2014).

Ce stage utilisera le réseau des partenaires du RMT pour construire et valider une grille de caractérisation de la polyculture-élevage (au niveau de l'exploitation et du territoire). Pour ce faire, il s'agira de s'appuyer sur les travaux publiés, sur la mobilisation des porteurs de projets de recherche en cours, et sur le test de la grille par des enquêtes de terrain.

J'aborderai ainsi dans la première partie de ce rapport l'objet du stage, le contexte dans lequel il s'insère et les enjeux autour de la polycultures-élevage pour aboutir à la problématique. La seconde partie détaillera la méthodologie utilisée durant le stage. La troisième traitera les résultats à l'issue de chacune des étapes du travail. La dernière partie sera consacrée à la discussion à la fois par rapport à la méthodologie, aux résultats obtenus et aux applications possibles de la grille.

1) Contexte du stage, enjeux et problématique

1.1 Importance accordé à la polyculture-élevage en Europe et en France

Dans la littérature, la polyculture-élevage est considérée comme un ensemble de pratiques intégrant les principes d'agro-écologie, d'intensification écologique, d'agriculture de conservation, et d'écologie industrielle. De ce fait, la tendance actuelle vers la recherche d'une agriculture plus durable est ainsi en faveur de la polyculture-élevage. En effet, il y a en Europe une reprise de l'intérêt pour la polyculture-élevage dans le domaine de la recherche. Dans leur revue bibliographique, Ramonteu *et al.* (2014) ont recensé, rien qu'en France, plus de 70 projets de recherches et/ou de développement au tour de la polyculture-élevage, au cours des 15 dernières années.

La prise de conscience des performances de la PCE en termes d'efficience dans l'utilisation des ressources, de résilience face aux évènements économiques ou climatiques défavorables, des avantages économiques issus des interactions des divers ateliers de productions (économie de gamme) expliquent le renouveau d'intérêt à leur égard (Ryschawy *et al.*, 2014b) par les acteurs de développement. Mais le constat est fait que malgré ce regain d'intérêt, les exploitations agricoles françaises deviennent de moins en moins intégrées, sauf dans les milieux dits défavorisés, là où la polyculture-élevage a été maintenue (Ryschawy, 2012). Il y a donc un décalage entre l'intérêt théorique de la polyculture-élevage et la réalité des pratiques qui tendent toujours vers la spécialisation des exploitations agricoles et des territoires.

1.2 Etat actuel de la recherche sur la polyculture-élevage

1.2.1 Généralité de la recherche sur la polyculture-élevage

La polyculture-élevage est de loin le type de système le plus rencontré dans les pays du Sud (Herrero *et al.*, 2010 ; Wright *et al.*, 2011). Dans ces régions elle représente un moyen d'augmenter la productivité malgré des moyens d'intensification faibles et de faire face à des situations économiques incertaines. Les investigations pour la compréhension et l'amélioration de la polyculture-élevage se sont donc notamment déroulées dans le Sud.

Les nouveaux enjeux autour du développement durable en France ont fait que les interactions cultures-élevages ont de plus en plus attiré l'attention des chercheurs et des acteurs politiques et publics (Ramonteu *et al.*, 2014 ; Ryschawy *et al.*, 2012). En effet, l'agriculture doit assumer son double rôle qui est de produire tout en préservant le naturel. De fait, la polyculture par sa capacité de recyclage de la matière et par la diversité qu'elle génère est vue comme un des moyens permettant à la fois de réduire les intrants et de diminuer les pertes et les pollutions qui peuvent en découler. En effet, les externalités négatives vers l'environnement (contamination en nitrate des eaux souterraines, excès de phosphore dans les sols, produits phytosanitaires dans les eaux de surface) pourront être réduits, tout comme l'importation massive en aliments de bétail ou en fertilisants.

1.2.2 Divergence d'opinions autour de la définition de la polyculture-élevage

La littérature reste très floue sur la définition réelle des systèmes de polyculture-élevage (Ryschawy, 2012. Ramonteu *et al.*, 2014). Plusieurs définitions ont été proposées, certaines se basent sur la structure du système ou de l'exploitation, d'autres sur son fonctionnement, ou encore en fonction d'aspects économiques. Parmi les auteurs qui s'intéressent sur la polyculture-élevage, nombreux sont ceux qui ont repris la définition de Séré *et al.* (1996)

pour délimiter ces systèmes (Schiere *et al.*, 2002 ; Ryschawy *et al.* 2012). Elle stipule que les exploitations ou les territoires en polyculture-élevage sont ceux dont l'intra-consommation de produits végétaux dans l'alimentation des animaux représente au moins 10% (en matière sèche) et dont pas moins de 10% (en valeur) de la production totale est issue d'activités non liées à l'élevage.

Le taux 10% n'est sans doute pas toujours adapté à toute situation ; néanmoins cette définition précise bien l'importance d'un niveau minimal d'échange et d'une diversité d'ateliers de production, dans la définition de la polyculture-élevage. A la différence des définitions structurales (présence de un ou plusieurs atelier d'élevage et un ou plusieurs atelier de culture), des définitions fonctionnelles (autonomies en fertilisants, en aliments, etc.), et des définitions économiques (exemple OTEX), sa particularité est qu'elle rassemble l'aspect économique et agronomique. Elle est néanmoins assez générique et recouvre donc une grande diversité d'exploitations.

1.2.3 Etat actuel de la question de caractérisation de la polyculture-élevage

La plupart des études menées sur la polyculture-élevage se focalisent sur les performances des systèmes. Ainsi, les classifications des systèmes mixtes se font notamment sur la base de leurs performances (bilan d'azote, productivité à l'hectare ou par travailleur, performances économiques, etc.). Les performances de ces exploitations sont en effet très variables mais les sources de variabilités peuvent aussi bien être d'origine structurelle et/ou fonctionnelle que liées aux choix et aux objectifs des agriculteurs. Les conclusions à tirer de ces classifications sur la base des performances ne sont donc pas évidentes du fait de l'imprécision sur les caractéristiques des exploitations. De plus sur les performances économiques, les résultats peuvent être dépendants de l'évolution du marché Il existe donc un manque d'outils qui permettent de différencier les systèmes de polyculture-élevage sans aller dans l'évaluation des performances et sans utiliser des indicateurs économiques.

1.3 RMT SPyCE et UR SAD Paysage

Dans le cadre d'un stage de Master, ce travail est commandité par le réseau mixte technologique Système de PolyCulture-Elevage (RMT SPyCE). C'est une structure de partenariat entre plusieurs acteurs de la recherche, du développement, de la formation technique, de l'enseignement supérieur, etc. Comme son nom l'indique, le réseau SPyCE traite spécifiquement les thématiques sur la polyculture-élevage au niveau national. Parmi ses partenaires nous pouvons citer l'INRA, l'institut de l'élevage (IDELE), la Chambre d'Agriculture, etc.

Le RMT SPyCE contribue à la réalisation de synthèses de connaissances scientifiques et à leurs transmission aux acteurs agricoles et à l'enseignement, à l'utilisation des résultats de recherche et à la conception d'outils d'aide à la décision / de systèmes de production innovants. L'objectif du réseau est résumé en 4 axes : évaluation de la durabilité au niveau de l'exploitation (axe 1) et du territoire (axe 2), repérage et caractérisation de pratiques d'intégration cultures-élevage (axe 3), diffusion et transmission des connaissances (axe 4).

Le stage s'est déroulé au sein de l'un des partenaires du réseau SPyCE, l'unité de recherche (UR) SAD Paysage de l'INRA de Rennes. Appartenant au département sciences et actions pour le développement (SAD), l'UR SAD paysage concentre ses recherches sur l'analyse des interactions entre les éléments du paysage à différents échelles. Il s'agit notamment des études d'interrelations entre les pratiques agricoles, les fonctions écologiques et la biodiversité. L'objectif de ces travaux est de trouver un compromis entre ces trois entités et d'identifier des

leviers d'action pour favoriser ces compromis. De ce fait, l'unité regroupe des personnes de différentes spécialités : des écologues, des agronomes, des zootechniciens, et des modélisateurs (<http://www6.rennes.inra.fr/sad>).

1.4 Place de la caractérisation dans le travail du RMT

La caractérisation de la polyculture-élevage (au niveau de l'exploitation et du territoire) est un élément de l'axe 3 du RMT. Cette caractérisation est un passage obligé pour le RMT puisque les réunions sur la définition de la polyculture-élevage menées dans les axes 1 et 2 ont abouti à la conclusion que toutes les définitions sont discutables et qu'il fallait donc partir de la plus large. De plus, cette caractérisation permettra d'identifier des pratiques et des systèmes innovants d'intégration culture-élevage afin de les maintenir ou de les développer. En outre, les caractéristiques des systèmes ainsi obtenus seront pour le RMT un élément d'explication des performances des systèmes polyculture-élevage observées dans la littérature et sur le terrain (axes 1 et 2).

2) Matériels et Méthodes

2.1 Méthodologie générale

Le travail de stage est composé de deux temps. La première phase a consisté à l'élaboration de la méthode (la grille) pour caractériser la polyculture-élevage. Le second temps a été dédié au test de la grille sur un cas concret et à son analyse.

2.1.1 Conception de la grille

La conception de la grille s'est déroulée sur plusieurs temps. Le premier temps a été consacré à une recherche bibliographique. Cette étape a permis de réunir ce qui a été déjà fait en termes de méthodes et de résultats sur la caractérisation de la polyculture-élevage. Pour cela, j'ai utilisé des mots clés qui tournent autour de : « diversité, intégration, analyse de flux, caractérisation, typologie/classification, définitions », « des systèmes mixtes, des systèmes intégrés, des pratiques agricoles, des systèmes polyculture-élevage ». Une cinquantaine d'écrits (articles, thèses, rapports, etc.) ont été consultés durant cette phase.

Dans un second temps, j'ai organisé des réunions téléphoniques avec les porteurs de projets ayant été confrontés à la caractérisation de ces systèmes. Dans leur recherche, ces personnes ont proposées des méthodes pour caractériser les systèmes mixtes. L'idée était d'avoir une liste d'indicateurs de caractérisation qui ne se retrouvent pas forcément dans la littérature, en leur posant des questions de type : « comment-est-ce que vous différenciez une exploitation en polyculture-élevage d'une autre exploitation ? » et « comment avez-vous caractérisé la polyculture-élevage au niveau du territoire ? ».

Les projets qui nous ont intéressés sont : le projet Agrotransfert : Elevage en zone de grande culture, le projet européen CANTogether, le projet RFD (Recherche-Formation-Développement) sur la polyculture-élevage de la Guadeloupe, 3 projets de thèse (« Conception et évaluation de systèmes de production intégrant culture et élevage à l'échelle du territoire », « La complémentarité entre culture et élevage permet-elle d'améliorer la durabilité des systèmes de production agricole? », « Pratiques d'intégration agriculture-élevage et performances agroécologiques des systèmes mixtes en milieu tropical: une étude comparative Latino-Caribéenne »), et le lycée agricole Pixérécourt.

L'objectif de cette étape était de construire une grille qui permette de différencier les exploitations agricoles, sur la base de leurs structures et de leurs fonctionnements, une grille qui soit à la fois relativement simple à utiliser (pour pouvoir être utilisée dans l'enseignement au niveau des lycées agricoles), qui ne soit pas sensible aux événements du marché et qui soit suffisamment détaillée selon le niveau d'informations disponibles.

Ainsi, les indicateurs qui entrent dans la grille ont été choisis selon qu'ils permettent ou non d'informer sur la diversité ou l'intégration, selon s'ils différencient ou pas les exploitations ou les territoires, selon que leur utilisation est faisable ou non à partir des données d'enquête.

La grille issue de ces étapes initiales a été soumise à validation auprès des membres du RMT intéressés par la démarche (11 participants) puis modifiée pour tenir compte des remarques. Cette version de la grille a été annotée de façon à rendre explicite chacun des critères, son importance pour la caractérisation de la polyculture-élevage et la façon de le calculer.

Une troisième étape a été de valider chacun des critères de la grille à l'issue des résultats du test en situation réelle.

2.1.2 Test de la grille

La mise en œuvre de la grille a été réalisée uniquement dans un cas concret : une commune de 14 exploitations. Par la suite, les données recueillies par des enquêtes ont été analysées de façon à avoir les caractéristiques de chacune des exploitations et de la commune.

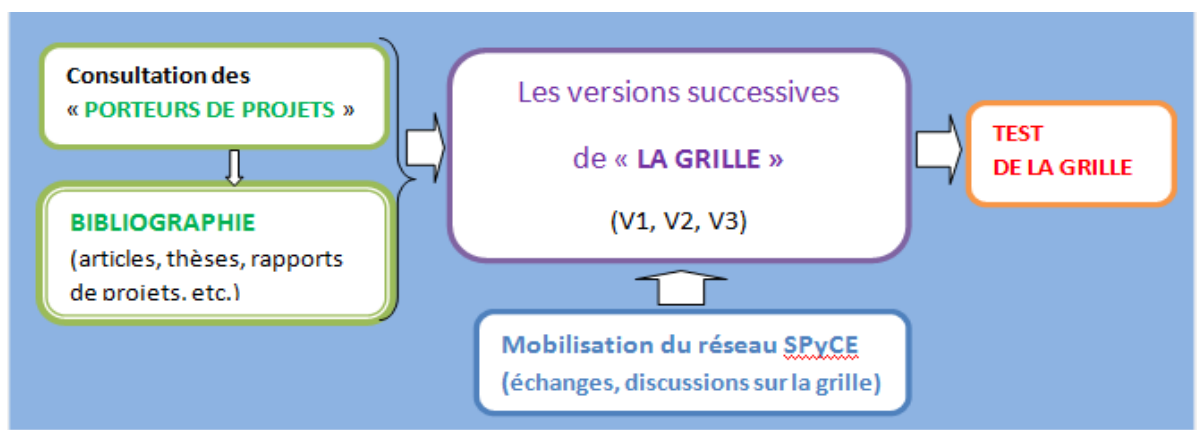


Figure 1 : Les points d'étapes dans le travail du stage

2.2 Construction de la grille

2.2.1 Sélections des indicateurs

a) Selon les critères de diversité et d'intégration

La phase de recherche bibliographique et d'entretien auprès des porteurs de projet a montré que la meilleure façon de caractériser la polyculture-élevage est de les différencier selon son niveau de diversité et d'intégration. Ainsi on trouve dans la littérature deux types d'association culture-élevage : les systèmes mixtes (« mixed farming » ou « mixed system » « mixed crop-livestock system ») et les systèmes intégrés (« integrated farming system » ou « integrated crop-livestock system »). Ces deux systèmes peuvent tous deux être appelés

polyculture-élevage, malgré le fait que tous les systèmes intégrés sont des systèmes mixtes, alors que tous les systèmes mixtes ne sont pas forcément des systèmes intégrés.

Au niveau de l'exploitation, l'intégration se traduit par des échanges entre les ateliers constitutifs ; alors qu'au niveau du territoire, l'intégration concerne aux échanges entre exploitations (spécialisées ou non) (Moraine, 2015) du territoire concerné. De manière générale, nous définirons l'intégration comme l'utilisation sur un atelier animal (végétal) dans une exploitation agricole d'un moyen de production, d'un produit ou d'un sous-produit issu de l'atelier végétal (animal). Et la complémentarité territoriale comme : l'utilisation dans une exploitation agricole d'un moyen de production, d'un produit ou d'un sous-produit issu d'une autre exploitation du territoire.

Dans cette étude, nous avons pris une définition large de l'intégration en incluant les facteurs de productions (terre, travail, ressources) (Sneessens *et al.*, 2014) comme « les échanges parcellaires » ou « l'orientation des travailleurs ». Et puisque la diversité et l'intégration s'opère aussi bien dans l'espace que dans le temps (des pratiques agricoles : en synchrones, en rotation, séparés) (Bell et Moore, 2012; Moraine, 2012) les indicateurs concernant la succession de plantes cultivées, la répartition des cultures, l'éparpillement des surfaces, le pâturage, la fauche font partis des critères retenus. Ceci nous permet de nous inscrire dans la représentation en trois pôles Animaux-Cultures-Prairies décrite par Moraine (2012) (Figure 2).

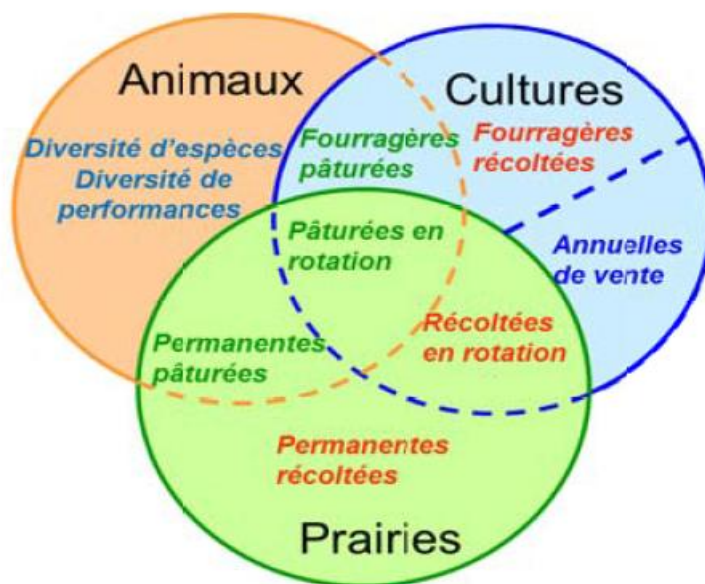


Figure 2 : les interactions entre les trois pôles des systèmes polycultures-élevage (Moraine, 2012)

b) Selon les critères qui différencient les exploitations ou les territoires

A part le fait de baser la construction de la grille sur des facteurs de diversité et d'intégration, le choix de retenir ou non un critère repose également sur la capacité de celui-ci à différencier une exploitation mixte d'une autre ou d'un territoire d'un autre territoire de dimension comparable. Ainsi pour les critères économiques non pas été retenus, parce qu'une évolution dans les cours du marché peut faire basculer une exploitation d'un système à un autre sans que celle-ci n'ait subi de modifications dans ses structures ou ses fonctionnements (Agreste, 2013 ; Sneessens, 2014). Une évaluation sur une série temporelle longue permet de minimiser cet inconvénient mais la grille devant pouvoir être remplie sur un passage ponctuel nous n'avons pas retenu les indicateurs économiques dans notre grille.

c) Selon l'accessibilité des informations en enquêtes

Le choix des indicateurs pour la construction de la grille est aussi fait par rapport aux informations qui peuvent être obtenues en enquête. Les indicateurs qui mobilisent des mesures ou des analyses particulières (analyse de laboratoire, relevé topographique, etc.) ont donc été écartés. L'objectif en termes de collecte de données est de pouvoir recueillir des informations qui sont déjà disponibles chez l'exploitant et de faire des enquêtes qui ne durent pas trop longtemps (au maximum 2 heures). Les indicateurs qui ne répondent pas à ces conditions n'ont donc pas été pris en compte, car dans l'objectif de construction de la grille, il y a le souci de simplicité de la méthode, afin qu'elle soit utilisable par un grand nombre d'acteurs dont des élèves de lycée agricole.

2.2.2 Les méthodes de calcul des indicateurs

a) Conversion des unités :

Du fait d'une grande diversité d'espèces et d'ateliers, la conversion d'unité différente en une unité commune est obligatoire, de manière à ramener à une même unité (UGB) tous les ateliers de productions animales (Annexe II). Il est important de réaliser cette étape car le calcul de plusieurs indicateurs est basé sur les valeurs ainsi obtenues (Indice de Shannon, variables de partition de la diversité (α , β et δ), UGB/ha, etc.). La conversion d'unité est également nécessaire pour les quantités d'effluents ou de fertilisants organiques gérées dans l'exploitation (importés, exportés, utilisés). Ainsi, ces quantités exprimées en tonne ou m^3 sont transformées en unité d'azote (organique). En cas de défaut d'informations de la part des exploitants sur la quantité unitaire d'azote des fertilisants organiques, nous utilisons des valeurs issues de la bibliographie (Annexe III).

b) Principes de calculs

Il y a 5 types d'indicateurs : des indicateurs quantitatifs issus directement des enquêtes (type d'élevage, races d'animaux, plantes cultivés, etc.), des indicateurs calculés (UGB/ha, dispersion des îlots, diversité lié à la diversité du territoire), des indicateurs en pourcentage (part des prairies dans la SAU, autonomie alimentaire, etc.), des indicateurs calculés selon des principes préalablement fixés permettant de mettre en exergue les différences entre exploitations (groupe botanique, assolement, rotation, etc.) et des indicateurs qualitatifs (intégration par rapport au choix de la race, incitation politique).

Dans ce tableau de données, nous avons représenté le territoire comme étant une « super-exploitation ». Selon le type d'indicateur, les données de cet individu peuvent être la somme des valeurs de chacune des exploitations (SAU, Nombre d'UGB...), un pourcentage calculé avec la même méthode que pour les exploitations (% de prairies dans la SAU), ou ne prendre en compte que certaines données (la somme des intrants à l'échelle du territoire ne prend en compte que les intrants issus d'entités hors du territoire : les échanges entre exploitations du territoire ne sont pas considérés). Le calcul des indicateurs de diversité et d'intégration du niveau territoire suivent donc le même principe que pour les exploitations de la commune. Sont en plus renseignés et calculés les éléments liés à la caractérisation de la complémentarité entre les exploitations du territoire.

2.3 Affinage de la grille

2.3.1 Consultation du réseau SPyCE

Nous avons organisé deux présentations de la grille aux membres du RMT SPyCE intéressés par le projet. Ces réunions se sont basées sur une présentation des raisons motivant la

conservation ou le rejet des critères identifiés. L'objectif était d'améliorer la grille et d'avoir un premier résultat (la grille) qui fasse l'unanimité de tous les participants. Sur la base des discussions ainsi réalisées, des indicateurs ont été supprimés ou reformulés, d'autres ont été ajoutés à la grille et la structure hiérarchique des critères a été validée. Les éventuelles limites dans l'application de la grille ainsi que les perspectives ont également été abordées.

2.3.2 Affinage des méthodes de calculs

Tout comme les indicateurs, les méthodes de calculs ont dû être ajustées. En effet, pour répondre à l'objectif qui est de proposer une méthode de caractérisation qui soit relativement simple d'utilisation et qui soit efficace sur terrain (qui permet de discriminer les divers systèmes de polyculture-élevage), des modifications de la méthode de calcul des indicateurs ont été faites après la collecte de données. En effet l'échantillon retenu pour tester la grille est relativement restreint, et des critères qui permettent de distinguer certains aspects entre exploitations diversifiées se sont avérés peu pertinents pour les exploitations de la zone d'étude. Ainsi, la transformation en classes des variables exprimées en pourcentage n'a finalement pas été faite car toutes les exploitations de la zone se retrouvaient dans la même classe.

2.4 Application de la grille

2.4.1 La commune de Monterfil

Pour tester la grille, nous avons choisis de l'appliquer sur Monterfil ; une commune de la région de Bretagne, à l'ouest du département d'Ille et vilaine, à 30km de Rennes dans la direction de Lorient (<http://www.monterfil.fr/>). Elle a une superficie de 16,9 Km² avec 1351 ha de SAU (RPG, 2012). Il y a 14 exploitations agricoles dont le siège se situe dans la commune dont 9 GAEC (Groupement Agricole d'Exploitation en Commun), 2 EARL (Exploitation Agricole à Responsabilité Limitées) et, 3 SCEA (Société Civile d'Exploitation Agricole). Monterfil est entourée des communes de Treffendel, Le Verger, Saint-Thurial, Talensac, et Montfort-sur-Meu.

2.4.2 Déroulement des enquêtes

En ce qui concerne les enquêtes, nous sommes partis d'une liste des agriculteurs de la commune que la mairie de Monterfil nous a fait parvenir. Et en plus des 14 EA de Monterfil, elle nous a suggéré de prendre en compte 2 exploitations qui se trouvent à la limite de la commune mais qui possède un bâtiment d'élevage dans la commune. Ainsi, nous sommes partis sur une base de 16 exploitations au total.

Sur ces 16 exploitations nous avons pu enquêter 13 d'entre elles, 3 exploitations ayant refusé de prendre part au dispositif. Nous avons opté pour des enquêtes semi-directives. Elle consiste à poser des questions ouvertes à l'éleveur afin de lui laisser le soin d'évoquer avec ses mots le fonctionnement de son exploitation. Le rôle de l'enquêteur est de relancer la discussion en orientant sur les thèmes d'intérêt qui n'ont pas encore été abordés.

Les enquêtes ont duré une heure trente en moyenne. Les thèmes abordés durant les enquêtes concernent la structure de l'exploitation (nombre de tête d'animaux, surface des cultures, les espèces cultivées, les variétés de plantes, les races, etc.) et du fonctionnement de l'exploitation (gestion des fertilisants, rotation, gestion du troupeau, les échanges avec l'extérieur, etc.) (Annexe IV). Deux éléments complémentaires de l'enquête ont été réalisés

selon la disponibilité des agriculteurs : une partie récapitulative (sur les intrants, les productions, les intra-consommés et les vendus de chaque atelier) permettant de valider les déclarations de l'éleveur et une partie sur les grandes lignes du fonctionnement de l'exploitation lors de l'installation des agriculteurs

2.5 Traitement de données

2.5.1 Construction du tableau de données

Les données recueillies ont été synthétisées sous forme d'un tableur excel. Ce tableur permet de ramener sous une même forme les renseignements de chaque exploitation. Les informations manquantes deviennent ainsi évidentes. L'outil développé permet aussi le traitement automatisé des données pour produire les indicateurs. Seul le calcul des indicateurs spatiaux a nécessité l'utilisation d'un logiciel tiers. J'ai ainsi utilisé QGis (version 2.8.1) (<http://qgis.org/fr/site/>) et les données du registre parcellaire graphique (RPG) de 2010 et de 2012 pour géolocaliser le territoire de chaque exploitation enquêtée et calculer les indicateurs spatiaux d'intérêt.

2.5.2 Analyses factorielles

a) L'importance de l'analyse factorielle

Nous avons choisis d'utiliser l'analyse factorielle pour mieux apprécier les interrelations entre les variables (corrélation linéaire, et sens agronomiques des corrélations). En effet, elle permet de mettre en relation tous les éléments d'un tableau de données (individus et variables) entre eux. La combinaison des variables dans un axe peuvent faire apparaître des relations agronomiques entre les indicateurs qui composent cet axe, cela permet d'aller plus loin dans l'explication de la diversité et/ou de l'intégration. Enfin tous les axes étant indépendants, chaque axe apporte une information complémentaire. Ceci est une différence notable par rapport aux méthodes proposant une analyse sur deux axes "diversité" et "intégration" qui peuvent ne trouver des individus que dans certaines zones de leur plan du fait des corrélations possibles entre les axes. En outre, l'analyse factorielle permet de faire apparaître les variables pertinentes sur un grand tableau de données.

b) Descriptions des axes d'analyse

Les paquets (« packages ») Rcmdr (<http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Misc/Rcmdr/>) et factoMineR (<http://factominer.free.fr/>) du logiciel R (version 3.0.1) (<https://www.r-project.org/>) ont servi à faire les analyses factorielles. Elles consistent à rassembler les variables (les indicateurs) en un nombre de variables plus réduit : les axes factoriels. En tout, 9 analyses factorielles ont été faites (3 pour la diversité, 3 pour l'intégration, et 3 pour la diversité et l'intégration prisent simultanément). Dans le cas où toutes les variables sont des continues, l'Analyse en Composante Principale est utilisée. Dans les autres cas, nous avons réalisé des Analyses Factorielles de Données Mixte (AFDM).

Le principe général de l'ACP est de réduire la dimension des données initiales, en remplaçant les p variables quantitatives initiales par q facteurs appropriés ($q < p$). Il s'agit d'obtenir le résumé le plus pertinent possible des données initiales (Baccini *et al.*, 2010). L'AFDM traite les variables quantitatives à la manière de l'ACP et les variables qualitatives comme dans le cas d'une analyse en composante multiples (ACM) (Pagès J., 2004).

Dans le choix du nombre d'axes, l'objectif est d'avoir un maximum d'informations expliquées par un minimum d'axes. Le nombre d'axes conservé est dépendant i/ des valeurs

propres de chaque axe (identification d'un "coude" sur l'éboulis des valeurs propres) et ii/ selon le sens agronomique de l'axe : les variables corrélées à chaque axe ont-elles du sens ?

c) Classification

A partir des axes sélectionnés nous avons réalisé une classification des exploitations à l'aide de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Il s'agit de regrouper les individus en commençant par le bas c'est-à-dire ceux qui sont les plus homogènes, pour constituer un dendrogramme ou un arbre (Baccini *et al.*, 2010). Chaque groupe est alors caractérisé à la fois par sa position dans le plan factoriel et par les valeurs des différents indicateurs dans le groupe par rapport à la moyenne observée dans l'échantillon. L'ensemble de ses analyses sont réalisées sous R.

3) Résultats

3.1 Les versions successives de la grille

La grille de caractérisation a subi des modifications successives avant d'aboutir à la version retenue pour la phase de test. Ces affinages sont le résultat d'échanges avec les membres de la RMT SPyCE autour de deux réunions. Il y a eu ainsi 3 versions successives de la grille. La première version comptait 34 indicateurs sélectionnés parmi ceux trouvés dans la littérature et ceux proposés par les porteurs de projets de recherche sur la PCE. La seconde version comportait quant à elle 50 indicateurs associés à des niveaux hiérarchiques. Ensuite des critères ont été retirés de la grille (la part de l'agriculture biologique, le nombre d'entreprises agro-alimentaire, etc.) et d'autres ont été ajoutés (autonomie alimentaire, autonomie en concentré, etc.), les niveaux hiérarchiques ont aussi été reformulés aboutissant ainsi à la troisième version. Cette dernière est constituée de 48 indicateurs (Annexe I).

3.2 Description de la grille

3.2.1 Les indicateurs

a) Indicateurs de diversité au niveau exploitation

Les indicateurs de diversité sont répartis entre les indicateurs qui expriment la diversité au sein des ateliers de culture (les plantes cultivées, le groupe botanique, la part de prairie sans légumineuse, la part de prairie multi-espèces), les indicateurs qui mesurent le niveau de diversité dans les ateliers d'élevage (le type d'élevage, les races d'animaux, le mode d'alimentation), et les indicateurs transversaux entre cultures et élevages (l'indice de Shannon, les produits agricoles vendus, le type de transformation à la ferme, etc.).

Le premier niveau de notre hiérarchie est composé des critères i/ qui nous ont semblé les plus intégratifs (par exemple le type d'élevage qui prend en compte les différentes productions animales de l'exploitation ainsi que les catégories d'âge présentes), ii/ qui permettent de distinguer les exploitations sur des critères fondamentaux (le nombre de plantes cultivées par exemple) et iii/ qui soient facilement accessibles dans des bases de données (assolement par exemple). Le second niveau comprend les indicateurs qui vont plus dans le détail par rapport aux indicateurs du premier niveau. Enfin le troisième niveau hiérarchique est constitué des indicateurs moins explicatifs de la diversité des systèmes (le mélange d'effluents, l'échange parcellaire, matériels en copropriétés, etc.) et ceux qui nécessitent des calculs plus complexes (dispersion des îlots, part de céréales intra-consommé).

Au niveau du territoire, tous ces critères sont repris. La méthode de calcul ne change généralement pas, le territoire étant juste considéré comme une "super exploitation" qui aurait pour structure la totalité des exploitations qui le composent. Seule la dispersion des îlots est calculée de façon différente : c'est la moyenne de la dispersion des exploitations.

Tableau 1 : Liste des indicateurs de diversité

Indicateurs	Niveau	Références
Type d'élevage	1	Sneessens <i>et al.</i> , 2014
Race des animaux	1	Stark et Fanchone, 2014 ;
Plantes cultivées	1	Sneessens <i>et al.</i> , 2014
Groupe botanique	2	
% prairie sans légumineuse/prairie totale	2	
% des prairies multi-espèces/prairies avec légumineuses	2	Moraine <i>et al.</i> , 2014
Dispersion des îlots	3	DRAAF/SRISET, 2012
Assolement	1	Sneessens <i>et al.</i> , 2014
Rotation	1	Roche <i>et al.</i> , 2010 ; Duru, 2013 ; Chambaut, 2013 ; Moraine <i>et al.</i> , 2014
Produits agricoles vendus	2	Roche <i>et al.</i> , 2010
Types de transformation	2	
Autres valorisations	2	Moraine <i>et al.</i> , 2014
Mode d'alimentation avec les aliments produits à la ferme	3	
Indice de Shannon (%)	1	Shannon, 2001

b) Indicateurs d'intégration

Les indicateurs d'intégration intra-exploitation (Tableau 2) font références à la surface (part des surfaces dédiées à l'alimentation animale, pourcentage de PT dans la SAU), au pâturage, à la fauche, à l'intra-consommation céréalière, à l'inter-culture, aux autonomies, à la valorisation de résidus de culture et sous-produits de transformation, au matériels et travail, et à la gestion des effluents.

Si le nombre de critères est important, seuls 3 critères appartiennent premier niveau hiérarchique. En effet de nombreux critères sont des spécifications de ces 3 critères : l'autonomie alimentaire se décline en autonomie en concentré et en fourrage, la part des surfaces dédiées à l'alimentation animale se décline en % de la prairie dans la SAU, en part du pâturage et en celle de la fauche et le critère UGB/ha permet d'avoir une idée sur la disponibilité de la fertilisation azotée. Le second niveau hiérarchique amène donc des précisions sur ces critères mais aussi des critères sur des dimensions autres que l'alimentation et les effluents : le travail et l'équipement.

Au niveau du territoire, tous ces indicateurs sont calculés de la même façon mais les flux entre les exploitations du territoire ne sont plus considérés comme des intrants.

Tableau 2 : Liste des indicateurs d'intégration

Indicateurs	Niveau	Références
Part des surfaces dédiées à l'alimentation animale	1	Chambaut, 2013
% de la prairie temporaire dans la SAU	3	Moraine <i>et al.</i> , 2012 ; Sneessens, 2014
Part de pâturage dans l'alimentation animale	2	Roche <i>et al.</i> , 2010 ; Sneessens, 2014
Pâturage mixte entre espèces animales différents	3	
Part de prairie fauchée par rapport à la SAU dédiée à l'alimentation animale	2	Terrier et Pernel, 2015
Part des céréales produites utilisés sur l'exploitation	3	Chambaut, 2013 ; Terrier et Pernel, 2015
Mise en place d'inter-culture pour l'alimentation animale	2	Terrier et Pernel, 2015 ; Sneessens, 2014
Autonomie alimentaire	1	Duru, 2013 ; Mischler <i>et al.</i> , 2014 ; Terrier et Pernel, 2015
Autonomie en concentré	2	
Autonomie en fourrage	2	
Autonomie en paille	2	
Intra-consommation de résidus de culture	2	Stark <i>et al.</i> , 2010 ; Terrier et Pernel, 2015
Part des sous-produits de transformation à la ferme dans l'alimentation des animaux	2	
Le choix de la race dans la valorisation des ressources de l'exploitation	2	
Orientation des travailleurs	2	Stark et Fanchone, 2014
Matériels agricoles utilisés à la fois pour les activités de culture et d'élevage	2	
Effectif d'animaux par unité de SAU	1	Roche <i>et al.</i> , 2010, Chambaut, 2013
Epannage des effluents sur les cultures de l'exploitation	2	Stark <i>et al.</i> , 2010 ; Terrier et Pernel, 2015
% N organique produit/azote total	2	Stark <i>et al.</i> , 2010
Mélange des effluents des différentes espèces	3	

c) Indicateurs de complémentarité spécifiques au territoire

En plus des indicateurs de diversité et d'intégration, nous proposons des indicateurs qui permettent de rendre compte de la complémentarité des exploitations au sein du territoire et de leurs interactions (Tableau 3). Le principal critère utilisé est celui de la partition de la diversité observée sur le territoire entre les différentes exploitations (critère β adapté du travail de Lu *et al.* 2007 en écologie).

Le second niveau hiérarchique introduit les notions de quantité des flux entre exploitation du territoire, de la contribution des EA à la diversité du territoire, d'équipement en commun, etc. Les engrais organiques issus des effluents d'élevage (fientes compostées, digestats des

processus de méthanisations) achetés ou vendus par une exploitation peuvent faire l'objet des échanges entre exploitations d'un territoire, d'où le critère de la mise sur le marché des effluents d'élevage. Les effluents produits sur le territoire valorisés sur le territoire (Tableau 3) est la somme de l'épandage des effluents sur les cultures de l'exploitation (Tableau 2) et de l'épandage sur les parcelles d'une autre exploitation se trouvant sur le territoire.

Le troisième niveau concerne les échanges de parcelles, les matériels agricoles, et les échanges d'aliments à travers le travail à façon (TAF).

Tableau 3: Liste des indicateurs de complémentarité spécifiques au territoire

Indicateurs	Niveau	Références
Unité de gestion collective	2	Moraine <i>et al.</i> , 2014
Nombre de plan d'épandage ayant recourt à EA extérieurs	2	Moraine <i>et al.</i> , 2014 ; Terrier et Pernel, 2015
Nombre d'échange de parcelles	3	Moraine <i>et al.</i> , 2014
Variabilité de la contribution des EA à la diversité du territoire	2	Lu <i>et al.</i> , 2007
Partition de la diversité du territoire	1	Lu <i>et al.</i> , 2007
Quantité de flux échangés entre nœuds	2	Rufino <i>et al.</i> , 2009
Pâturage de PP sur une autre EA	2	Terrier et Pernel, 2015
Mise sur le marché des effluents d'élevage	2	
Echange paille-fumier	2	Moraine <i>et al.</i> , 2014 ; Terrier et Pernel, 2015
% effluents produits sur le territoire valorisés sur le territoire	2	
Matériels en co-proprétés	3	Terrier et Pernel, 2015
Consommation d'aliments TAF (travail à façon)	3	Terrier et Pernel, 2015
Nombre d'ETA et de CUMA	2	Terrier et Pernel, 2015
Mise en œuvre de structures d'échange (institutionnalisées)	3	

3.2.2 Formules pour le calcul de quelques indicateurs

a) L'indice de Shannon

L'indice de Shannon est un indicateur habituellement utilisé en écologie pour mesurer la diversité biologique d'un milieu d'étude. L'indice se calcule à partir de la proportion p_i . Dans notre analyse, p_i représente la proportion en taille de chacun des ateliers de production. Pour les ateliers de culture la taille est exprimée en ha de SAU, pour les animaux cette taille prend l'unité d'UGB. Le calcul de l'indice suit la formule suivante (Monneveux and Nemmar, 1986; Shannon, 2001): $H = -\sum_{i=1}^S p_i \log p_i$, dont S est le nombre total d'atelier. H varie de 0 à $\log S$, si bien que, exprimé en pourcentage, l'indicateur devient $100 * H / \log S$.

b) Les variables de partition de la diversité (α , β et δ)

Les variables de α , β et δ de Lu *et al.* (2007) sont issues d'une méthode utilisée en écologie pour la contribution de l'ensemble de plusieurs échantillons à la biodiversité de l'ensemble de l'échantillon. Dans ce travail, elles sont particulièrement intéressantes dans le sens où elles permettent de différencier la diversité propre à chaque exploitation ou diversité intra-exploitation α , la part de l'exploitation dans la diversité inter-exploitation β , et la part de l'exploitation dans la diversité du territoire δ . Tel que $\alpha + \beta = \delta$.

Au départ, cette méthode ne prend en compte que la présence (qui prend la valeur de 1) et l'absence (0) des éléments d'un système. Pour intégrer l'abondance dans les analyses la conversion des SAU et des UGB en proportion a été nécessaire. De cette façon, nous pouvons faire le calcul sur l'ensemble des ateliers. Ainsi est résolu le problème de différence d'unité entre les ateliers de productions animales et végétales.

c) La dispersion des îlots

Pour faire le calcul de la dispersion des îlots d'une exploitation, les informations relative à la surface de tous les îlots et la distance qui sépare chaque îlot du siège d'exploitation sont nécessaires. Dans le cas où l'exploitation possède plusieurs sièges, nous prenons la distance la plus faible. Le calcul suit la formule suivante :

$$DI \text{ (Km)} = \frac{\Sigma(\text{distance îlot au siège} * \frac{1}{\text{surface îlot}})}{\Sigma \frac{1}{\text{surface îlots}}} \text{ (adaptée de DRAAF-SRISET, 2012).}$$

d) Les autonomies

Les indicateurs sur l'autonomie (autonomie en paille, autonomie en fourrage, etc.) sont calculés par le rapport la quantité de produits intra-consommée (en fertilisants en aliments ou autres) et la quantité totale consommée :

$$\text{Autonomie} = 100 * \frac{\text{intra-consommé}}{\text{consommé}} \text{ (Mischler } et al., 2015).$$

3.3 Accessibilité des informations en enquête

A l'issue des enquêtes, des informations ont été manquantes pour arriver à remplir toutes les cases du tableau de données. Il s'agit des données difficilement accessibles par enquête c'est à dire qui ont pu être recueillies chez certains mais pas chez d'autres, notamment les quantités d'azote des effluents, la durée des rotations des cultures, la part de la paille dans l'alimentation des animaux, les surfaces fauchées et les surfaces pâturées, le nombre d'espèces dans les prairies permanentes. Le déficit d'information peut avoir d'autres raisons. En effet, lorsque les travailleurs sont spécialisés dans leur ateliers de productions respectifs et qu'ils n'ont pas été tous présent durant l'enquête, il y a presque toujours des informations manquantes.

3.4 Caractéristiques des exploitations et du territoire témoin

3.4.1 Résultats des enquêtes

Un premier aperçu du résultat des enquêtes montre que les exploitants de la commune ont des pratiques agricoles différentes, malgré qu'ils soient tous en système mixte : les cultures et

l'élevage sont toujours présents. La majorité des exploitations cultivent des céréales mais certaines se sont spécialisées dans la production d'herbe et de fourrages.

Une variabilité existe dans la production animale même s'il y a dominance de la pratique combinée de l'élevage de bovin lait et de bovin viande (4 exploitations). Cinq exploitations n'ont qu'une seule production : bovin lait, poulet de chair, porc (1 exploitation chacune) ou bovin viande (2 exploitations). Une exploitation combine bovins viandes et volailles. Trois exploitations ont trois productions : bovin lait et bovin viande avec soit des volailles (1 exploitation) ou des porcs (2 exploitations).

L'intégration des ateliers est différente d'une exploitation à l'autre. Toutes les exploitations ont des échanges bilatéraux entre les ateliers d'élevage et de cultures, excepté une exploitation spécialisée en poulet de chair qui valorise les fientes sous forme de compost exporté et dont les produits de culture ne sont pas utilisés pour l'alimentation des animaux. L'intensité d'intégration est souvent limitée par la disponibilité de surface pour la production d'aliments. Peu d'exploitations enquêtées ont besoin d'importer ou d'exporter des effluents.

Les exploitations du territoire sont aussi variables par rapport aux surfaces SAU. Nous pouvons les regrouper en trois : les exploitations de grande taille dont la SAU est supérieure à 200 ha (EA 9, 10, 11) ; les exploitations de taille moyenne qui ont des superficies comprises entre 80 et 190 ha (EA 2, 5, 7, 8, 12) ; les exploitations de petite taille dont es SAU sont inférieures à 30 ha (EA 1, 4, 6, 13).

3.4.2 Résultats bruts des calculs d'indicateurs

Une première constatation après le calcul des indicateurs montre que sur les 34 indicateurs de caractérisation des exploitations seuls 30 ont pu faire l'objet de calcul. En effets, 4 indicateurs concernent des aspects qui ne sont pas présents sur le territoire (% prairie sans légumineuse/prairie totale, part des sous-produits de transformation à la ferme dans l'alimentation des animaux, pâturage mixte entre espèces animales différentes, mélange des effluents des différentes espèces). En outre, les règles de transformation en classes des critères basés sur une proportion (part de PT dans la SAU, % d'autonomie alimentaire, etc.) ont eu tendance à rendre la valeur des indicateurs uniforme, notamment à cause de la relative homogénéité des productions présentes et du faible nombre d'exploitations. Or l'objectif du stage est bien de tester la capacité de la grille à différencier les exploitations, ce qui nous a obligés à reprendre les valeurs exprimée en pourcentage.

3.4.3 Résultat de l'étude des axes factoriels

Pour illustrer les possibilités d'analyse offertes par l'utilisation de la grille je présenterais les résultats de 3 analyses : l'ACP des indicateurs de la diversité de niveau hiérarchique 1, l'ACP avec les indicateurs de l'intégration de niveau hiérarchique de niveau 1 et l'AFDM avec les indicateurs de la diversité et de l'intégration de niveau 3 (soit l'ensemble des critères de la grille).

Suite aux premières analyses factorielles, nous avons décidé de considérer à part deux individus. Ces deux exploitations ont des valeurs d'indicateurs très éloignées du reste des exploitations. En effet, l'EA 3, une exploitation avicole, a une valeur très élevée en UGB/ha (79,54UGB/ha alors que la moyenne des EA restantes est de 2,98UGB/ha) associée à des valeurs nulles en type d'élevage et en part de pâturage dans l'alimentation. L'EA 11, une exploitation porcine, a une valeur très élevée en part de céréales dans l'alimentation (71,21% alors que le reste des EA est à 5,19% en moyenne) et une valeur nulle en part de pâturage

dans l'alimentation. C'est deux exploitations tirent beaucoup sur les axes, ce qui masque la variabilité entre les autres exploitations.

Les axes factoriels retenus dans chacune des analyses sont décrits dans le tableau 4. Pour la diversité de premier niveau, les axes représentent 58,77% de l'inertie totale (F1=30,74% et F2=28,03%). Pour l'analyse avec les indicateurs d'intégration de premier niveau l'axe F1 retenu pour l'interprétation explique 52,80% de l'information initiale. En ce qui concerne l'analyse avec les indicateurs de diversité et d'intégration de troisième niveau, les trois axes retenus expliquent 58,03% de la variabilité (F1=23,23%, F2=20,86% et F3=13,94%). Ce pourcentage représente la qualité de la représentation des variables et des individus dans les analyses.

Tableau 4: Les niveaux choisis et les caractéristiques des axes

axe	Diversité niveau 1		Intégration niveau 1		Diversité et intégration niveau 3	
	indicateurs	Nom de l'axe	indicateurs	Nom de l'axe	indicateurs	Nom de l'axe
F1 +	InSh, PICu, Asso	diversité de plantes cultivées	SauAl, AutAl	intensité de la production animale (en intrants et en chargement)	TyEl, PrAg, MoAl, ICAI, AutP	destination des produits végétaux : vente vs alimentation
F1 -	Rot		Ugb/ha		SauAl, PT,	
F2 +	TyEl, RaAn	diversité des animaux d'élevage			AutAl, PICu, GrBo, AuVa, Rési, OrW	Choix dans l'autonomie : aliments vs fertilisants
F2 -					CérAl, Ep, Norg	
F3 +					PrMu, Rot, PâtAl, ugb/ha	affouragement
F3 -		Fauch,				

InSh : indice de Shannon, PICu : plantes cultivés, Asso : Assolement, TyEl : type d'élevage, RaAn : race des animaux, SauAl : part de surface destinée à l'alimentation, AuAl : Autonomie alimentaire, Ugb/ha : effectif d'animaux part hectare de SAU, PrAg : Produits agricoles vendus, ICAI : part de l'inter-culture dans l'alimentation, AutP : Autonomie en paille, MoAl : mode d'alimentation, GrBo : groupe botanique, AuVa : Autres valorisation, Rési : résidus de cultures, OrW : organisation du travail, CérAl : part du céréale dans l'alimentation, Ep : épandage, Norg : azote organique, PrMu : prairie multi-espèces, Rot : rotation des cultures, PâtAl : part du pâturage dans l'alimentation, Fauch : part de la fauche dans l'alimentation

F1 + : axe 1 ou dimension 1 du côté positif (coordonné supérieur à 0) ; F1 - : axe 2 (dim 2) du côté négatif

Pour la diversité, l'axe 1 oppose le groupe de variables composés de l'indice de Shannon (InSh), les plantes cultivés (PICu) et assolement (Asso) à la variable rotation (Rot). La figure 3 montre une corrélation forte négative entre plantes cultivées et la valeur du critère rotation. Ceci est dû au fait que la diversité des cultures se fait au détriment des surfaces en herbe qui ont des rotations plus importantes. Ainsi, le nom que nous avons donné à l'axe est « diversité en plantes cultivées ». L'axe 2 a une corrélation positive forte aux variables type d'élevage (TyEl) et race d'animaux (Ran). De ce fait, plus une exploitation se trouve dans le sens positif de l'axe 2 plus elle a une diversité élevée d'animaux d'élevage ; c'est pourquoi nous avons donné le nom de « diversité des animaux d'élevage » à cet axe.

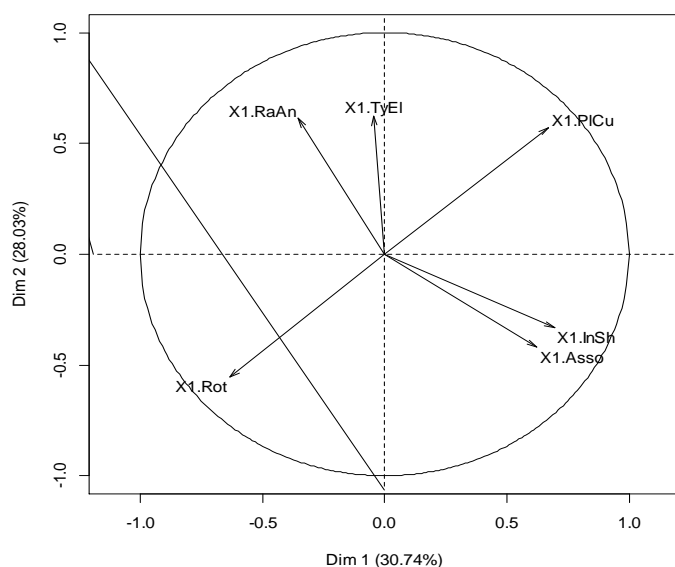


Figure 3 : Cercle de corrélation des indicateurs de diversité niveau 1

Un seul axe a été retenu pour l'analyse suivant les indicateurs d'intégration. L'axe oppose l'UGB/ha aux critères la part de surface dédiée à l'alimentation (SauAl) et l'autonomie alimentaire (AutAl) (Figure 4, tableau 4). L'autonomie alimentaire varie dans le même sens que le pourcentage de surface utilisé pour nourrir les animaux. Ces deux variables sont de plus en plus faibles au fur à mesure que l'exploitant augmente sa part d'importation d'aliments. Cette situation se présente lorsqu'il y a peu de surface disponible (SAU faible) ou lorsque l'exploitant priorise les cultures de vente (SauAl faible), ou encore quand le chargement des animaux est élevé. Ainsi, l'axe traduit « l'intensité de production animale », en termes d'importations d'intrants (aliments) et de chargement. Cependant, la figure 4 montre qu'il n'y a pas de corrélation entre l'UGB/ha et l'autonomie alimentaire (les deux variables forment un angle droit).

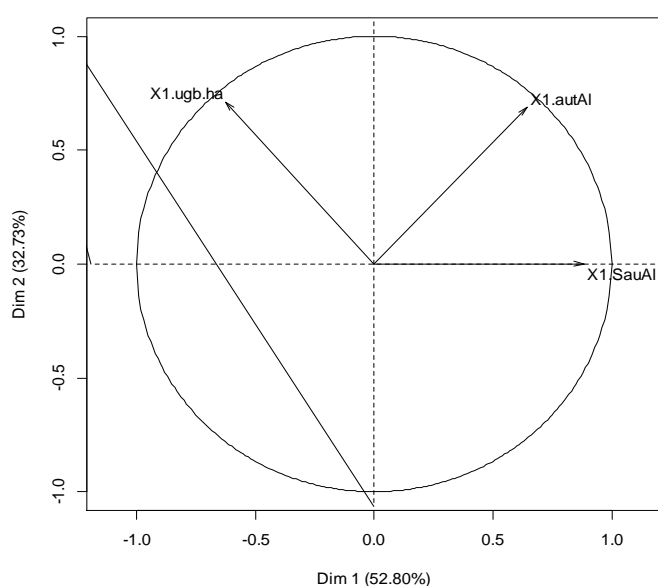


Figure 4 : Cercle de corrélation des indicateurs d'intégration niveau 1

Trois axes ont été retenus pour l'analyse factorielle sur les indicateurs de diversité et d'intégration (prises ensemble). Dans le tableau 4, le premier axe oppose le groupe de critères constitué de la part de surface dans l'alimentation (SauAl) et la prairie temporaire (PT), du groupe de critères constitué de la diversité en produits agricoles vendus (PrAg), du type d'élevage (TyEl), de l'autonomie en paille (AutP), de la diversité dans le mode d'alimentation des animaux (MoAl) et de la mise en place de l'interculture dans l'alimentation (ICAl).

Sur la figure 5, l'indicateur type d'élevage est en corrélation forte avec le produit agricole vendu et l'autonomie en paille. En effet, dans une exploitation agricole la majorité des produits d'élevage sont vendus (à la différence des produits végétaux qui peuvent être quasi totalement intracommusés), ce qui explique ici que la diversité d'ateliers d'élevage (TyEl) est fortement liée à la diversité des produits de vente de l'exploitation (PrAg).

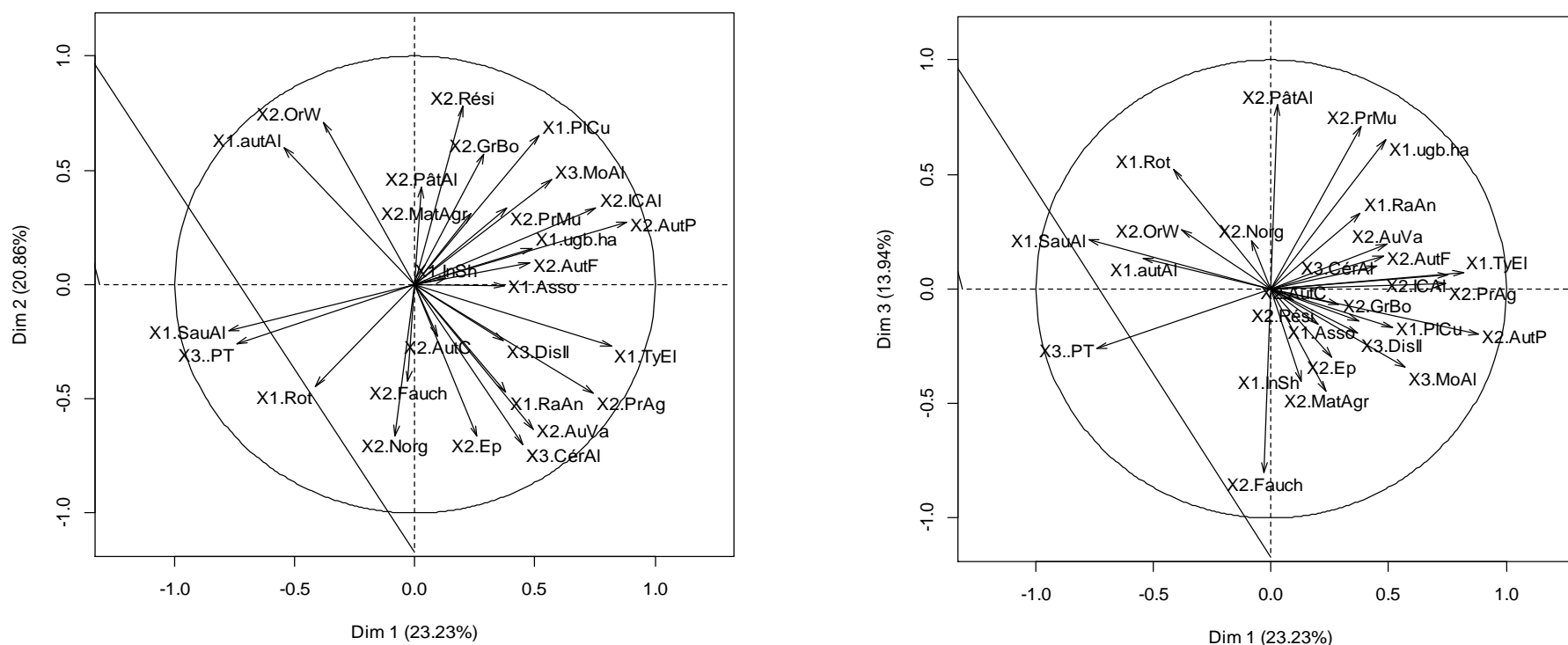


Figure 5 : Cercles de corrélation des indicateurs de diversité et d'intégration de niveau 3

Les exploitations mixtes cherchent à produire eux même leur paille en favorisant la culture des céréales à paille. Dans ces exploitations, les pailles sont utilisées pour la litière et/ou pour l'alimentation (dans le cas où il y un élevage d'herbivore). La corrélation entre le type d'élevage et l'autonomie en paille (AutP) montre que ce sont les exploitations qui ont plusieurs ateliers d'élevage qui choisissent d'aller dans le sens de l'autosuffisance en paille. Les céréales à paille sont généralement des plantes annuelles et leur culture libère des surfaces pour les inter-cultures d'où la forte corrélation de l'autonomie en paille et la mise en place d'inter-culture dans l'alimentation des animaux (ICAI).

Les produits de la prairie temporaire (foin, enrubbages, ensilages) sont notamment intra-consommés, ce qui explique sa corrélation forte avec la part de surface dédiée à l'alimentation animale (SauAI). L'augmentation de la production des céréales à paille (cultures de vente) réduit les surfaces d'herbe (pour l'alimentation). L'axe 1 porte ainsi le nom de « destination des produits végétaux ».

Le second axe regroupe les indicateurs qui expriment le niveau d'intra-consommation de céréales (CérAI) et l'autonomie en fertilisant (part de l'azote organique des fertilisants par rapport à l'azote totale Norg et l'épandage sur l'EA des effluents produits sur l'EA Ep) d'un côté, et l'autonomie alimentaire (AutAI) ainsi que les indicateurs qui expliquent des demandes fortes en fertilisation de l'autre côté : la diversité en plantes cultivées (PICu), la valorisation des résidus de cultures (Rési), le groupes botaniques GrBo). Nous mettons l'hypothèse que l'orientation vers les cultures annuelles induit la spécialisation des travailleurs (corrélation avec l'organisation du travail OrW). Le nom de l'axe exprime donc le choix dans l'autonomie (aliments vs fertilisants) ».

Le troisième axe est nommé « affouragement » parce qu'il oppose la pratique de la fauche (Fauch) à la pratique de pratique du pâturage (PâtAI) avec les critères qui sont liés à cette pratique (l'UGB/ha, la rotation, la part de prairie multi-espèces).

3.4.3 Les différents types d'exploitations agricoles

a) Classification des exploitations par rapport à la diversité

Un système qui n'est pas du tout diversifié a une capacité d'intégration limitée (Annexe VII) et ne peut donc être classé parmi les systèmes de polyculture-élevage. Si la diversité permet d'écarter les systèmes qui ne peuvent être en polycultures-élevage, elle doit aussi permettre de faire la distinction entre les systèmes qui sont à priori sont en polyculture-élevage. La classification des exploitations suivant la diversité avec des indicateurs de niveau 1 fait apparaître 4 groupes dont la diversité ou la mixité est donnée dans le tableau 5.

Le groupe 3 (ou cluster 3 sur la figure 6) ne possède qu'une exploitation. Cette exploitation se distingue fortement des autres sur l'axe "diversité cultivée" (figure 6) : elle a une diversité très faible dans tous les ateliers de production. Ainsi, il s'agit d'une classe d'exploitation spécialisée ou « faiblement diversifiée ».

Les autres groupes se distinguent principalement sur la diversité animale. Ainsi le premier groupe est constitué de 3 exploitations où l'élevage est très spécialisé. Cette caractéristique permet de dire que ce sont des exploitations qui ont des ateliers de productions « moyennement diversifiés ».

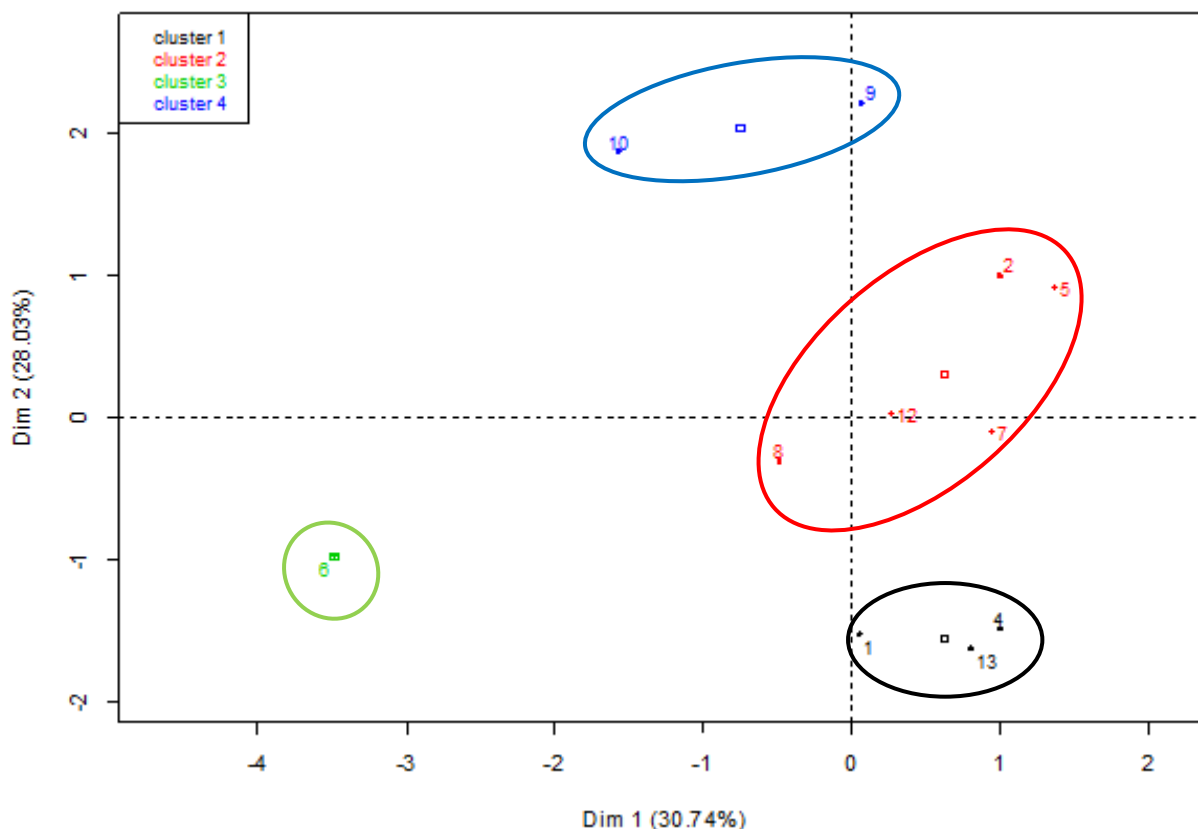


Figure 6 : Représentation dans un plan factoriel des groupes suivant la diversité

Si on considère que les groupes 1 (noire), 2 (rouge) et 4 (bleu) sont au même niveau de diversité végétale, alors la diversité globale la plus élevée (parmi les 3) est attribuée au groupe 4, suivit du groupe 2 et du groupe 1. Ainsi, le groupe 4 qui est composé de 2 exploitations est nommé « très diversifié ». Le groupe 2 contient 5 individus est appelé groupe d'exploitation « diversifiée ». Et le groupe 1 est le groupe d'exploitation « moyennement diversifiée » (Tableau 5).

Tableau 5: Les groupes issus de la classification avec des indicateurs de diversité de niveau 1

N° groupe	N° exploitation	Nom du groupe	Degré de diversité
1	4, 13, 1	exploitations moyennement diversifiées	**
2	8, 12, 7, 2, 5	exploitations diversifiées	***
3	6	exploitation non diversifiée	*
4	10, 9	exploitations très diversifiées	****

L'exploitation 6 qui constitue le groupe 3, est une exploitation « bio ». Elle a une petite superficie (26ha). Les animaux sont des bovins laits uniquement avec 4 races, d'où la valeur faible en type d'élevage et la valeur assez élevée en race d'animaux. Il n'y a que de la prairie (PP et PT) sur les parcelles de cette exploitation (Assolement faible), et les espèces semées sont au nombre de 3. Ainsi, parmi les exploitations de la commune, la valeur de la diversité des cultures de cette exploitation est la plus faible (8 contre une moyenne de 19,61). La faible diversité en espèces animale et assolement de culture induit une valeur d'indice de Shannon

faible. Cette particularité est en partie à cause de l'obligation du respecter le cahier de charge bio : il ne peut importer que des semences et des animaux (pour le renouvellement du troupeau) certifiés agriculture biologique. L'éleveur qui est seul main-d'œuvre de l'exploitation, veut aussi alléger la durée et l'intensité de son travail en ne faisant que de l'herbe et en n'élevant que du bovin lait.

En ce qui concerne le groupe 4, les exploitations 9 et 10 pratiquent toutes deux de l'élevage de bovin lait et, de bovin viande. Ils ont un troisième élevage, porc d'engraissement pour l'exploitation 9 et du poulet de chair pour l'exploitation 10. Ces deux exploitations se distinguent par leur taille très élevée (>200 ha de SAU). La valeur de l'indicateur race d'animaux et le type d'élevage sont au-dessus de celles des autres exploitations de la commune. Ils ont des valeurs d'assolement relativement faible mais la diversité des cultures est assez élevée.

Les exploitations du groupe 1 (1, 4 et 13) font de l'élevage bovin avec une race à viande. L'exploitation 4 fait du canard (à une race : barbarie) comme un deuxième élevage, les autres ne font que du bovin viande. Ils ont tous 4 ateliers animaux. Cette faible diversité en animal justifie la position du groupe dans le plan factoriel (Figure 6).

Les exploitations du groupe 2 combinent l'élevage de bovin lait et de bovin viande. Les exploitations sont soit diversifiées en nombre d'atelier d'élevage (EA 7, 8) soit diversifiées en nombre de race d'animaux (EA 5) ou encore moyennement diversifiée sur ces deux variables (EA 12). Ainsi le groupe a une diversité de production animale moyenne. Ces exploitations sont de taille moyenne en termes de surface (SAU compris entre 80 et 200ha).

En somme, nous pouvons dire qu'il y a une certaine corrélation positive entre la SAU des exploitations et la diversité en atelier d'élevage ; et que les formes d'élevage dans l'exploitation (bovin viande, bovin lait, porc, volaille) prédétermine la diversité de la production animale. Nous pouvons aussi noter que cette analyse met à part les exploitations tout herbe par rapport aux autres exploitations : la diversité des espèces liée à l'implantation de prairie n'est pas suffisante pour compenser la diversité des cultures des autres exploitations, notamment car celles-ci implantent aussi de larges surfaces en herbe

b) Classification des exploitations par rapport à l'intégration

Les résultats de l'analyse factorielle sur les indicateurs d'intégration de niveau 1 est assez fidèle aux données de départ puisqu'ils représentent 85,53% de l'information ; mais l'interprétation est faite uniquement sur l'axe 1, qui représente plus de 52,80% de la variabilité. Les 4 groupes sont bien distincts dans le plan factoriel (Figure 7). La classification est faite suivant les coordonnées des groupes sur l'axe 1 (dim 1). L'interprétation est donc faite suivant la signification de cet axe (Tableau 6). Ainsi, de gauche à droite du plan factoriel, l'intensité d'élevage à la fois par rapport aux intrants et aux chargements des animaux, va du fort vers le plus faible. Nous avons établi le degré d'intégration dans le sens inverse (Tableau 6).

Nous sommes partis de l'hypothèse qu'une importation élevée d'intrants (Rufino *et al.*, 2009 ; Rychawy *et al.*, 2014, Michler *et al.*, 2015), comme les aliments pour le bétail, traduit une faible intégration entre les ateliers de production (choisie ou subie à cause d'un manque de surface : un déséquilibre entre le nombre d'animaux et la surface disponible conduit à une rupture d'échange entre les cultures et l'élevage) (Dugué *et al.*, 2013) . Ainsi, le groupe 4 est celui qui favorise le plus l'intégration entre les ateliers, suivi du groupe 3, puis le groupe 2. Et le groupe 1 est celui qui a la plus faible intégration en intra-exploitation.

Le groupe 1 ne contient que l'exploitation 10. Elle a une valeur d'UGB/ha élevée (8,98) par rapport aux autres exploitations du territoire. C'est aussi l'exploitation la plus intensive en productions animales. Elle est différente en taille SAU et en effectif d'animaux exprimé UGB.

L'exploitation 6 qui se trouve de l'autre extrémité de l'axe possède une valeur d'UGB/ha (0,77) la plus faible sur le territoire. L'exploitation 1 en a une valeur de chargement plus élevée (3,74 UGB/ha). Ces deux exploitations forment le groupe 4. Leur point commun c'est leurs autonomies alimentaires très élevées (AutAl 96,29% et 100%) et leurs tailles (26,96ha et 26ha). En effet, elles font parties des exploitations de petite taille (partie 3.4.1). En nombre d'atelier, les deux exploitations sont différentes. L'exploitation 1 contient cinq ateliers de culture et quatre ateliers d'élevage. L'exploitation 6 n'a que deux ateliers de cultures et trois ateliers d'élevage.

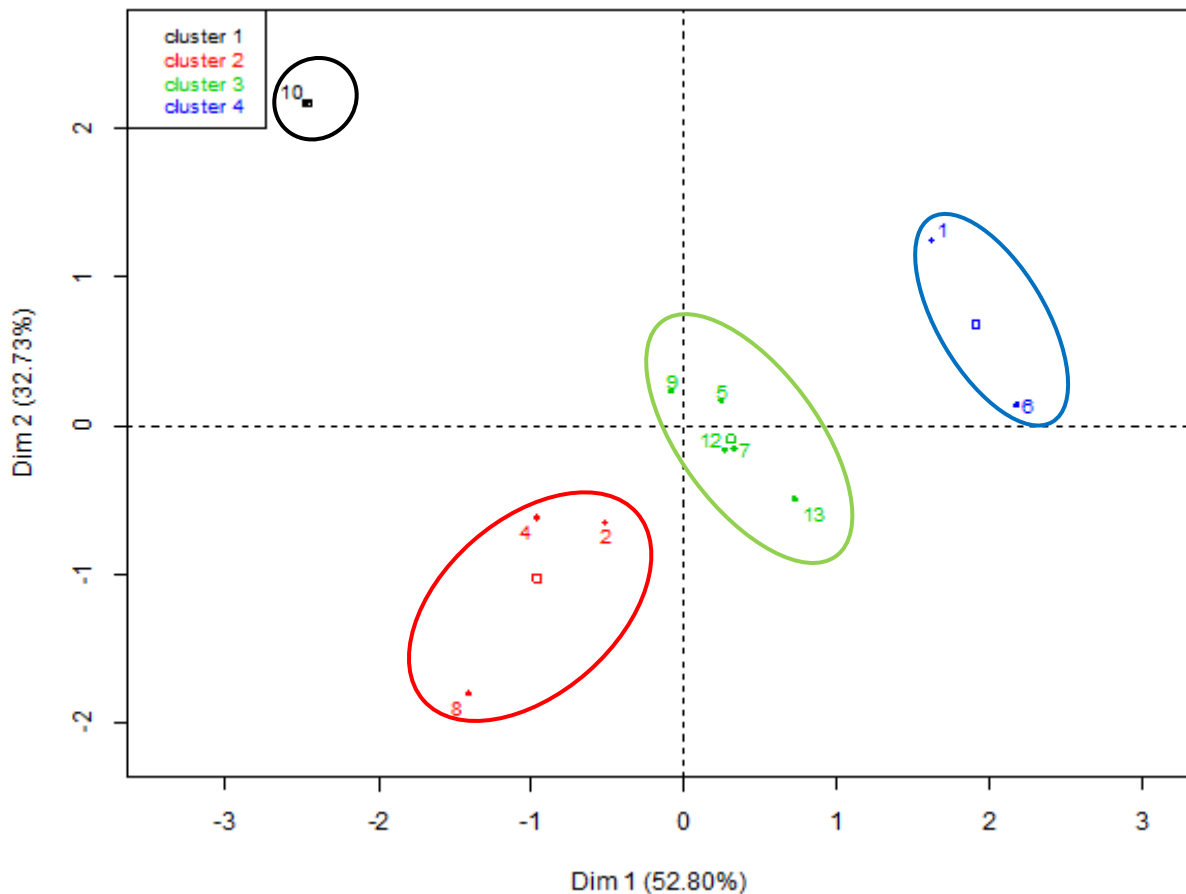


Figure 7 : Représentation dans un plan factoriel des groupes suivant l'intégration

Le groupe 3 rassemble 5 exploitations (EA 5, 7, 9, 12 et 13). Les trois différentes tailles d'exploitation se trouvent dans cette classe. Leur autonomie alimentaire est supérieure à 75% et l'UGB/ha varie de 1 à 3. Le groupe 2 contient 3 exploitations qui sont EA 2, 4 et 8. Elles ont des tailles différentes. Leurs autonomies sont nettement plus faibles que celles du groupe 3 (74 % pour EA 2, 63% pour EA 4 et 32% pour EA 8).

Tableau 6 : Les groupes issus de la classification avec des indicateurs d'intégration de niveau1

N° groupe	N° exploitation	Nom du groupe	Degré d'intégration
1	10	très intensive en productions animales	*
2	2, 4, 8	intensive en productions animales	**
3	9, 5, 12, 7, 13	peu intensive en productions animales	***
4	1, 6	faiblement intensive en productions animales	****

A la différence de la classification par rapport à la diversité, le degré d'intégration dans les exploitations ne peut être classé suivant la taille en SAU des exploitations. Le nombre d'atelier (de culture ou d'élevage) ne joue également pas un grand rôle dans la formation des classes. Et malgré le même nombre de groupe obtenus, il n'y a pas de liaisons entre les résultats des ces deux classifications. Ainsi, les exploitations à niveau de complémentarité élevé ne sont pas toujours celles qui ont des niveaux de diversité élevée. L'exploitation 10 est celle qui a le plus grand nombre d'ateliers de culture (6 atelier) et d'élevage (8 ateliers), pourtant c'est elle qui a le niveau d'intégration le plus faible. Et nous ne pouvons pas en dire autant pour l'exploitation 9 qui a aussi un très haut degré de diversité mais avec un degré d'intégration assez élevé également.

c) Classification des exploitations par rapport à la diversité et l'intégration

L'analyse factorielle avec les indicateurs de diversité et d'intégration de niveau trois utilise toutes les variables (les 29 indicateurs). Parmi les 4 groupes issus de la classification avec cette analyse, 2 groupes sont composés d'un seul individu. Une exploitation se distingue sur l'axe 1 et l'autre sur l'axe 2 (Figure 8).

Ici le terme complexité considère à la fois le niveau de diversité et d'intégration à l'intérieur des exploitations (Rufino *et al.*, 2009 ; Stark, 2015). En effet, un haut niveau de complexité indique un grand nombre d'éléments dans le système et une forte intensité des interactions ou des échanges entre composants du système (Annexe VIII). Le niveau de complexité représente donc en quelque sorte le niveau de polyculture-élevage.

Tableau 7 : Les groupes issus de la classification avec des indicateurs de diversité et d'intégration de niveau 3

N° groupe	N° exploitation	Nom du groupe	Degré de complexité
1	13, 12, 2,7	Exploitations moyennement complexes	**
2	1, 4, 5, 9, 10	Exploitations faiblement complexes	*
3	6	Exploitation très complexe	****
4	8	Exploitation complexe	***

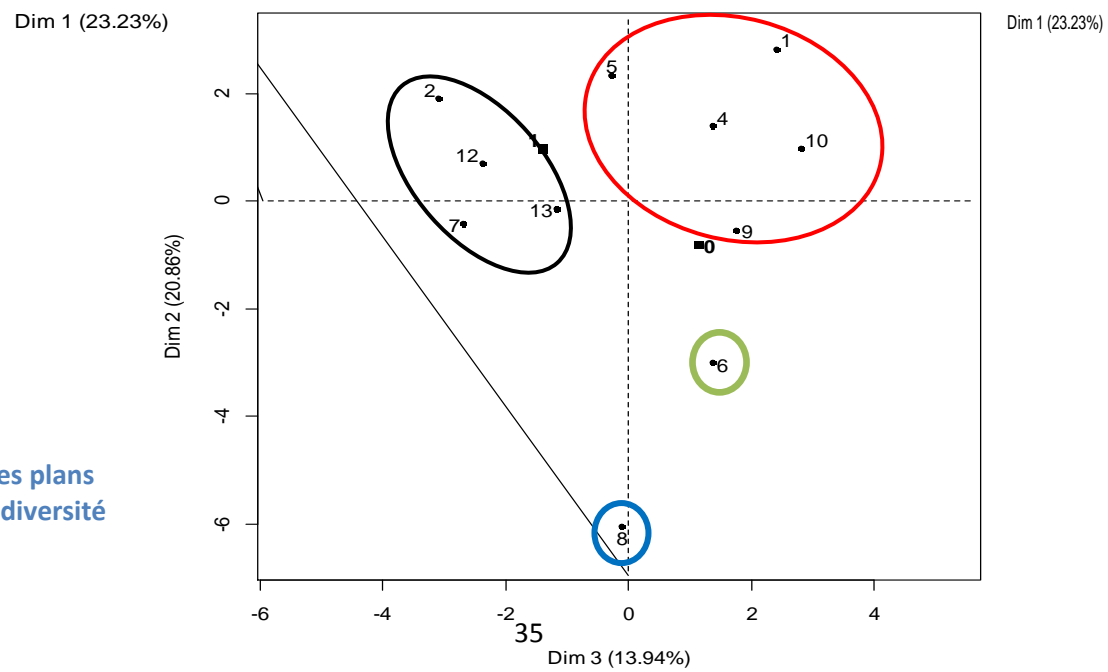
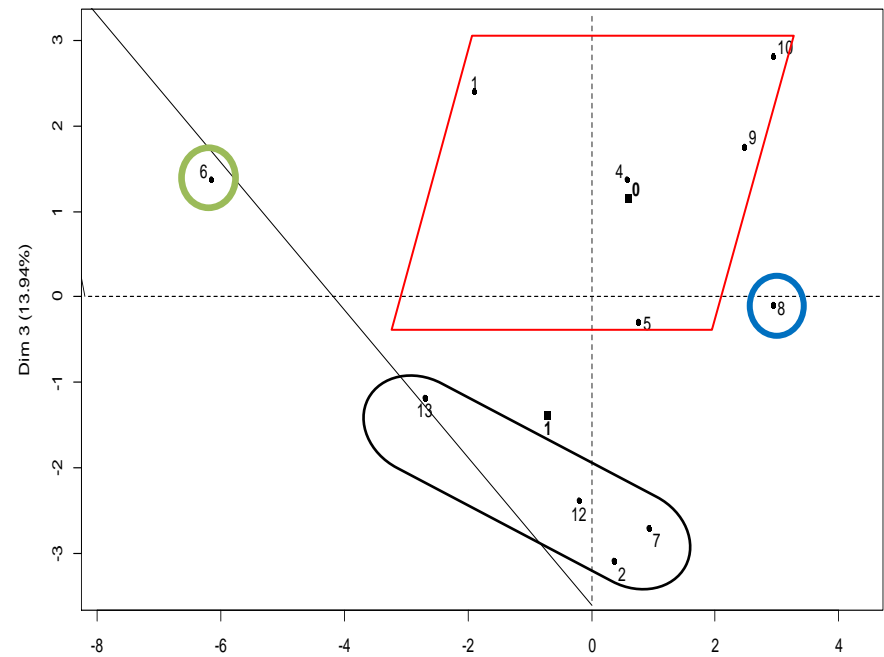
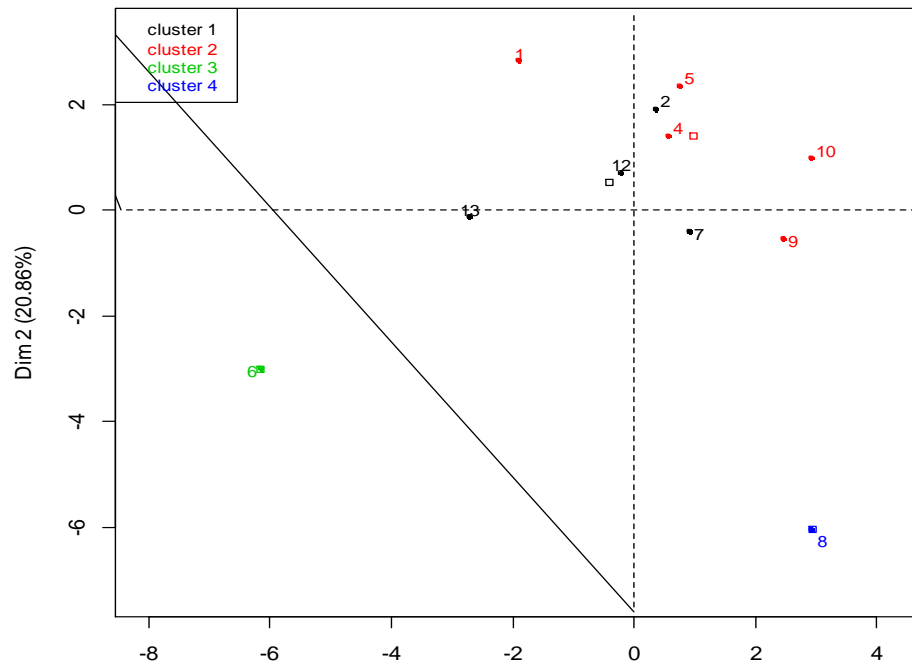


Figure 8 : Représentation dans des plans factoriels des groupes suivant la diversité et l'intégration

Nous considérons que l'intra-consommation des produits végétaux, l'autonomie de fertilisant, et le pâturage sont en faveur de la complexité. La figure 8 indique ainsi que cette complexité est très élevée pour le groupe 3, assez élevée pour le groupe 4, et faible pour le groupe 2 ; le groupe 1 est dans la moyenne (Tableau 7).

Les cinq exploitations du groupe 2 ont part presque égale en produits végétaux destinées pour la vente et l'alimentation. Elles ont des autonomies en intrants alimentaire légèrement au-dessus de la moyenne de toutes les exploitations. Les exploitants appartenant à ce groupe privilégient la fauche au pâturage. Le groupe 1 est composé de quatre exploitations dont les productions végétales sont surtout destinées à la vente. Elles ont des autonomies en intrants faibles, et la valorisation des cultures d'herbes se font notamment par le pâturage.

Le groupe 3 ne contient que l'EA 6. Cette exploitation intra-consomme pratiquement tous ses produits végétaux. Son autonomie en aliments est élevée (89%), ce qui n'est pas le cas de son autonomie en fertilisant qui est très faible (seulement 38% des besoins en azote sont produits sur l'EA). L'intégration entre les prairies et les animaux se fait notamment par la pratique du pâturage. Le groupe 4 ne contient aussi qu'une seule exploitation (EA 8). Elle vend la plupart de ses produits de cultures, d'où son autonomie alimentaire assez faible (32%). L'autonomie en fertilisant est par contre très élevée (la part de l'azote organique intra-consommé est de 100%). Ce qui fait que c'est l'exploitation qui est la plus autonome, tous intrants confondus. Il y a un équilibre entre la pratique de la fauche et celui du pâturage.

3.4.4 Caractéristiques du territoire

La valeur pour les indicateurs de diversité de niveau 1 tels que le type d'élevage (TyEl), la race des animaux (RaAn), les plantes cultivées (PICu) sont largement au-dessus de la moyenne des exploitations (Tableau 8). Cette différence montre que beaucoup d'exploitations possèdent des animaux, des races et des cultures que les autres ne possèdent pas. Par contre, il n'y a pas de grandes différences en diversité par rapport à l'assolement (Asso), la rotation (Rot), et l'indice de Shannon (InSh).

En ce qui concerne les indicateurs d'intégration de niveau 1, la surface dédiée à l'alimentation animale (SauAl) est assez proche de la moyenne des exploitations, ce qui n'est pas le cas de l'autonomie alimentaire (autAl) et du chargement (ugb/ha). Pour atteindre l'autonomie alimentaire, le territoire aurait ainsi besoin de produire 40% plus d'aliments pour le bétail que ce qu'il produit actuellement. Cela demanderait de convertir plus de surface pour alimenter les animaux, ou de diminuer le nombre d'UGB/ha (réduire la taille de l'élevage et/ou élargir la SAU disponible).

Tableau 8 : Comparaison entre territoire et exploitation sur la valeur des indicateurs de diversité et d'intégration de niveau 1

Indicateurs	1.TyEl	1.RaAn	1.PICu	1.Asso	1.Rot	1.InSh	1.SauAl	1.autAl	1.ugb/ha
Territoire	11	15	50.15	4	46	65.23	79.21	57.82	4.80
Moyenne des exploitations	3.62	2.92	19.62	3.62	40.10	69.29	76.91	68.36	8.73

TyEl : type d'élevage, RaAn : Race des animaux, Asso : Assolement, InSh : Indice de Shannon, SauAl : part de la surface dédiée à l'alimentation animale, autAl : Autonomie alimentaire

Pour les 15 indicateurs de complémentarité propre au territoire (Tableau 2), 3 n'existent pas sur le territoire (unité de gestion collective, échange paille-fumier, incitations politiques). Il n'y a eu qu'un cas de « pâturage de prairie permanente sur une autre exploitation » et de « mise sur le marché des effluents d'élevage ». La diversité des exploitations du territoire semble importante puisque presque 60% de la diversité des productions observées sur le territoire y est liée. Par contre chaque exploitation semble apporter la même part de diversité, l'écart-type de leur contribution représentant 73% de la moyenne.

Nous pouvons dire que, dans le territoire il y a peu d'interactions vis-à-vis des filières. De ce fait, l'origine des intrants et la destination des produits exportés par les exploitations sont surtout à l'extérieur de la commune. La faiblesse de la valeur de la « quantité de flux échangées entre nœuds » (21,93%) confirme cette remarque. Par contre, les fourrages produits ainsi que les effluents sont notamment valorisés dans la commune. En effet, la part des effluents produits sur le territoire valorisés sur le territoire est de 89,48% (épandage sur les parcelles de l'exploitation + épandage sur les parcelles d'une autre exploitation de la commune).

4) Discussions

4.1 Discussion sur la méthode adoptée

4.1.1 La démarche d'élaboration de la grille

Construire une grille par la mobilisation des données bibliographiques, des porteurs de projet et des membres du RMT SPyCE (Figure 1) donne à ce travail un caractère assez particulier sur l'aspect méthodologique. La mobilisation de plusieurs points de vue a nécessité de faire un effort de synthèse et de choix parmi tous les indicateurs proposés ou trouvés dans la littérature mais permet aussi d'avoir une grille plus complète permettant de caractériser la polyculture élevage sous différents angles. Elle peut ainsi remplir son rôle dans la caractérisation des systèmes, et l'axe 1 et l'axe 2 du RMT pourront tester les performances des exploitations et des territoires en fonction de la classification issue de la grille. De plus la mobilisation des porteurs de projet en cours permet d'intégrer des résultats actuellement indisponibles dans la littérature.

4.1.2 La méthode d'enquête

La collecte de données par des questionnaires semi-directifs a ses points forts et ses points faibles. Durant ce genre d'enquête, la discussion peut facilement être déviée du sujet. De plus les informations ne sont pas toujours reçues dans l'ordre prévu, ce qui peut entraîner des oublis de la part de l'enquêteur ou rendre plus difficile la saisie (informatique) des données. Par contre, une telle méthode d'enquête permet d'aller plus vite sur le temps d'enquête. Et les informations sont beaucoup plus fiables que pour les enquêtes de type choix multiples ou qui obligent l'interlocuteur à répondre oui ou non.

Le fait d'avoir trois niveaux hiérarchiques d'indicateurs permet hiérarchiser les questionnaires d'enquête. Ainsi, dans notre cas, nous avons commencé par des questionnaires d'ordre général (quelles sont les cultures prédominantes? quelles surfaces ils ont? quels sont les élevages? quel est l'effectif? quel aliments? quel fertilisants? etc.). Ils permettent de faire le calcul des indicateurs de premier niveau. Et selon le temps dont dispose l'utilisateur de la grille pour réaliser l'enquête, il a le choix entre s'arrêter au niveau 1, poursuivre jusqu'au niveau 2 ou de collecter tous les données (jusqu'au niveau 3).

4.1.3 Le choix et le calcul des indicateurs

Contrairement à la classification OTEX (Agreste, 2013), nous avons opté de ne pas introduire dans la grille des indicateurs économiques ou monétaire. Cependant, certains de ces indicateurs tel la marge brute (Stark *et al.*, 2010) permettent de résoudre le problème de l'unité entre ateliers de cultures et d'élevage. Sneessens *et al.* (2014) a fait deux types de classification, la première fait intervenir le degré de diversité et le degré d'intégration verticale (intra-consommation des outputs) et l'autre est basée sur l'économie de production « la méthode des frontières ». Cette méthode consiste à différencier les systèmes de polyculture-élevage selon les gains d'efficacité c'est-à-dire la réduction d'utilisation d'inputs (grâce aux interactions des ateliers et des ateliers d'élevage) que permettent les systèmes PCE par rapport aux systèmes spécialisés.

La méthode de frontière fait intervenir un critère de performance dont l'efficacité. La limite entre caractérisation et évaluation est parfois très mince. En effet, parmi les indicateurs de caractérisation qui constituent notre grille, certains peuvent être aussi considéré comme des indicateurs de performances : les critères d'autonomies (autonomie alimentaire, autonomie en paille, etc.).

Depuis les travaux de Bell et Moore (2012), les initiatives pour caractériser la polyculture-élevage se sont beaucoup inspirées de leur base de classification (Moraine, 2012 ; Sneessens *et al.*, 2014 ; Terrier, 2015). Le principe est de considérer que la diversité est un aspect structurel (nombre d'atelier), et que l'intégration s'opère au niveau spatial et temporel (Annexe VII). Dans la construction de la grille, nous avons pris en compte de cette définition d'intégration.

Rufino *et al.* (2009) définit la diversité et l'intégration en se basant uniquement sur l'analyse des flux. Cette méthode contribuerait sans doute à mieux caractériser le territoire car elle intègre dans le calcul des variables les flux échangés entre les éléments d'un système et les flux échangé avec l'extérieur du système. Son application nécessite au préalable, l'établissement du schéma des flux (Annexe VIII) et de convertir à une même unité les données concernant les ateliers de culture et d'élevage. Nous pourrions par exemple, faire une caractérisation à partir des réseaux de flux d'azote. Cette méthode a néanmoins des limites : tous les échanges ne peuvent pas être convertis en quantité d'azote, la quantité d'azote de tous les produits échangés ne sont pas toujours connues, une matière organique ou minérale n'est pas seulement composée d'azote, etc. En outre, la méthode ne tiens pas compte de la structure des exploitations (SAU des cultures, UGB des ateliers d'élevages).

La méthode que nous avons choisie utilise les valeurs brutes dans les analyses et non pas de données transformées afin de conserver la variabilité maximale de notre petit échantillon. De ce fait, la plupart des indicateurs n'ont pas de valeurs seuils. Ce qui n'est pas toujours le cas dans les travaux de caractérisation des systèmes (Vilain, 2008 ; Chambaut, 2012. Moraine, 2015). L'avantage d'avoir des classes ou des notes c'est de pouvoir définir à l'avance la signification agronomique des fourchettes de valeurs ou des notes. Mais dans notre cas, procéder ainsi ne permet pas de discriminer les exploitations (nombreux indicateurs prend des valeurs uniques), il faut donc un échantillon plus grand.

4.1.4 Typologie des exploitations

La méthode de notre analyse a une certaine similitude avec celle de Chambaut *et al.* (2012), puisque des indicateurs de diversité et d'intégration sont utilisés pour classer les exploitations. Sauf qu'au lieu de grouper tous les indicateurs de diversité pour former un axe et de réunir les indicateurs d'intégration dans l'autre axe, les axes utilisés dans notre

classification sont formés suivant l'analyse factorielle. De ce fait dans notre analyse les axes de discrimination des exploitations peuvent tout aussi bien contenir des indicateurs de diversité que des indicateurs d'intégration.

Si cette méthode rend plus complexe l'interprétation des axes, elle permet aussi d'identifier des associations entre critères et de mieux rendre compte de la diversité entre les exploitations de l'échantillon. Avec un échantillon plus grand, c'est à dire en continuant d'utiliser cette grille sur d'autres exploitations, nous serons en mesure d'identifier les critères de différenciation les plus importants. Ce sont les indicateurs qui reviennent toujours dans la formation des axes factoriels (en niveau 1, ensuite en niveau 2, puis en niveau 3) (les indicateurs qui forment les axes de diversité+intégration et qui se trouvent aussi parmi les indicateurs de diversité ou parmi les indicateurs d'intégration). Les indicateurs faiblement corrélés aux axes c'est-à-dire ceux qui sont mal représentés sur leur projection par rapport aux axes (cercle des corrélations) ne sont pas pertinents pour différencier les exploitations.

D'autres méthodes de classification que l'analyse factorielle avec la CAH sont faisables pour caractériser les systèmes de polyculture-élevage. En effet, Terrier et Permel (2015) ont fait une typologie des systèmes mixtes culture-élevage en recensant toutes les pratiques agricoles qui permettent des interactions entre ateliers puis en utilisant « la méthode de traitement graphique de l'information par matrice ordonnable » ou méthode de Jacques Bertin. Il s'agit d'une construction et d'une interprétation graphique, ainsi le nombre de groupes et les exploitations qui composent les groupes peuvent varier d'un observateur à un autre. Cette méthode fournit la possibilité d'organiser les individus selon plusieurs points de vue mais la lecture de la représentation n'est pas aisée pour un observateur extérieur.

4.2 Discussion sur les résultats obtenus

4.2.1 Les résultats obtenus en rapport avec les résultats attendus

La mise en catégorie de certaines variables avait pour objectif de rendre plus aisée l'interprétation des types d'exploitation issus de la classification. Or, cela a rendu difficile l'analyse factorielle en raison du faible effectif de notre échantillon. Le nombre d'exploitations entrant dans l'analyse a également abouti à des types qui ne sont représentés que par un seul individu.

En faisant les analyses factorielles avec les indicateurs de diversité et les indicateurs d'intégration, il n'y a pas eu formation de deux axes constitués d'un axe de diversité et un axe d'intégration. En effet, les indicateurs de diversité ne se sont pas groupés en un seul axe, tout comme les indicateurs d'intégration. Les 3 axes de l'analyse ont donné 4 groupes d'exploitation mais les critères discriminants les groupes sont différents de ceux ayant permis la classification de Chambaut *et al.* (2012). Ces derniers ont classifié les exploitations de polyculture-élevage en : groupe d'EA diversifiées et intégrées, groupe d'EA diversifiées et non intégrées, groupes d'EA non diversifiées et intégrées et, groupe d'EA non diversifiées et non intégrées.

La classification de Shiere *et al.* (2002) a montré trois types de systèmes polyculture-élevage : les systèmes à bas intrants, les systèmes de conservation, et les systèmes à haut intrants. Herrero *et al.*, 2010 ont différencié ces systèmes en deux : les systèmes de polyculture-élevage intensifs et les systèmes de polyculture-élevage extensifs. Nos résultats d'analyse sur la classification suivant les indicateurs d'intégration (de niveau 1) reviennent un peu sur cette notion d'intensification qui peut être associée au niveau d'importation d'intrant.

4.2.2 Le passage du niveau exploitations vers le niveau territoire

Les données issues des exploitations ont été suffisantes pour caractériser la polyculture-élevage au niveau territoire. En effet, les informations d'enquêtes dans les exploitations ont été utilisées pour calculer les indicateurs de diversité et d'intégration du niveau territoire ainsi que les indicateurs de complémentarité spécifique au territoire. Cette façon de procéder nécessite obligatoirement d'avoir les données de toutes les exploitations se trouvant dans le territoire (une exploitation manquante risque de fausser les résultats). Le seul souci au niveau pratique est le temps de collecte de données notamment pour une commune contenant un grand nombre d'exploitation ou pour un territoire plus large que la commune.

4.3 La portée de la grille et les points à améliorer

Les indicateurs qui composent la grille ont besoin d'être améliorés pour mieux exprimer la diversité et l'intégration. En effet, le problème d'unité entre les ateliers de culture (dont la taille est exprimée en ha de SAU) et les ateliers d'élevage (en UGB) nous a obligé de faire deux calculs d'indice de Shannon. La méthode choisie pour intégrer la taille d'UGB ou d'ha SAU des ateliers dans la méthode de Lu *et al.* (2007), fait que : si un atelier n'est présent que dans une exploitation du territoire, alors les résultats deviennent indépendants de la taille de celle-ci.

A la suite du test de la grille, nous pouvons affirmer que la grille permet de caractériser la polyculture-élevage au niveau territoire et au niveau exploitation. Seulement, les classes qui ont été obtenues ne caractérisent que l'ensemble des exploitations qui ont été enquêtées. Les classes n'ont ainsi de sens que pour la commune de Monterfil. Un plus grand échantillon, impliquant des exploitations sur tout le territoire, pourrait permettre l'identification de classes plus généralistes. Les indicateurs qui sont absents sur le territoire doivent être étudiés de près pour voir s'ils sont pertinents. Il en est de même pour la pertinence des indicateurs de niveau 2 et 3. Il serait aussi intéressant de tester la grille dans un bassin céréalier, ou dans un territoire AOC (où les races d'animaux et certaines pratiques agricoles sont imposées). Il faudrait aussi tester la grille sur des exploitations en dehors de la métropole (les DOM, les pays du Sud) pour identifier sa pertinence sur des systèmes plus petits et plus diversifiés.

Mais avec les données déjà collectées nous pouvons encore essayer de répondre à une autre question : la caractérisation du territoire est-elle très différente selon que l'on prend les exploitations qui ont leurs sièges dans la commune ou toutes les exploitations qui participent à la SAU de la commune.

Conclusion

Pour résoudre les problèmes de définition et de caractérisation de la polyculture-élevage, nous avons proposé une définition simple et sommaire, complétée ensuite par une caractérisation suivant les caractères spécifiques des systèmes polyculture-élevage, à savoir la diversité et l'intégration. Une grille pour caractériser la polyculture-élevage est essentielle dans cette quête. Dans notre travail, elle a permis de différencier les exploitations entre elles quel que soit le choix de groupes de variables considéré (diversité, d'intégration, diversité+intégration). L'hypothèse selon laquelle «il est possible de caractériser le niveau de diversité et d'intégration, des cultures et des animaux au sein des systèmes de production par des approches qualitative et quantitative » est confirmée.

Ce travail s'est inspiré des précédents travaux mais ne reprend en aucune manière ceux qui ont été réalisés sur l'étude des systèmes polyculture-élevage. En effet, la grille dans son ensemble est une méthode originale parmi les méthodes de caractérisation des systèmes, et la façon de traiter les résultats de la grille diffère de celles des autres. L'étude simultanée du niveau territoire et exploitation comme ce qui a été fait ici est intéressant mais devra être étendu sur un plus vaste échantillon. Cela conduit à un résultat plus général de la typologie des exploitations ou même des territoires.

La mise en relation avec les résultats de l'évaluation est une étape importante dans la poursuite de ce travail de caractérisation. Caractériser les systèmes permettra peut-être ainsi d'expliquer leurs performances. En outre, l'utilisation récurrente de cette grille devrait aussi permettre de faire ressortir des pratiques mises en œuvre dans toutes les exploitations, des pratiques qui se trouvent souvent ensembles (un bouquet de pratiques) et des pratiques originales d'interaction entre culture et élevage. De tels résultats pourront être utilisés par le conseil agricole.

Il peut être envisagé d'étudier la dynamique des exploitations en se servant de la grille pour caractériser une exploitation à une période donnée afin de comparer le résultat avec celui d'une autre période. Enfin, la grille peut servir à déterminer la marge d'intégration d'une exploitation ou d'un territoire en utilisant le degré d'intégration et de diversité issus de la grille et un degré théorique de potentiel de diversité et d'intégration pour leur système de production et leur territoire (projet du CASDAR REDSPYCE).

Liste des références

- ✓ Agreste, 2013. Production Brute Standard et Nouvelle Classification Des Exploitations Agricoles. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/PBS2011.pdf>.
- ✓ Baccini A., Besse P., Dejean S., Martin P., Granie C., Cristobal M., 2008. Analyse statistique des données d'expression. Institut de Mathématiques de Toulouse, France, 135p.
- ✓ Bell L. W., Moore A. D., 2012. Integrated Crop–livestock Systems in Australian Agriculture: Trends, Drivers and Implications. *Agricultural Systems* 111, 1–12.
- ✓ Bonaudo T., Bendahan A. B., Sabatier R., Ryschawy J., Bellon S., Leger F., Magda D., Tichit M., 2014. Agroecological Principles for the Redesign of Integrated Crop–livestock Systems. *European Journal of Agronomy*, 57, 43–51.
- ✓ Chambaut H., 2013. Deliverable D2.4: Characteristics of experimental and commercial systems involved in WP2. Cantogther, 33 p.
- ✓ Chambre Régionale d'Agriculture du Limousin. Valeur fertilisante des effluents d'élevage. Disponible sur internet : http://www.herbe-fourrages-limousin.fr/fileadmin/documents/doc_pascaline/Valeur_fertilisante_des_effluents_elevage.pdf [Consulté le 29/06/2015].
- ✓ Communiqué de presse SPCEt, 2013. La polyculture-élevage : une voie pour un développement durable de l'agriculture. Disponible sur internet : <http://www.toulouse.inra.fr/Toutes-les-actualites/communique-de-presse> [consulté le 07/04/2014].
- ✓ Daniel K., 2003. Concentration et Spécialisation: Quel Schéma Pour L'agriculture Communautaire? Disponible sur internet : <http://www.cairn.info/revue-economie-et-prevision-2003-2-page-105.htm> [consulté le 29/06/2015]
- ✓ David, C., 2000. La spécialisation des systèmes céréaliers en Europe: origine et conséquences. *Les Colloques de l'INRA*, 127-137.
- ✓ DRAAF/SRISET, 2012. GUIDE METHODOLOGIQUE : Indicateurs Calculés Pour L'analyse des enjeux relatifs à la consommation des espaces agricoles en Limousin.
- ✓ Dugué P., Andrieu N., Blanchard M., Havard M., Penot E., Salgado P., Vall E., 2013. Evolutions des relations agriculture élevage en zones de savane africaines et malgaches: quelques enseignements pour la polyculture élevage en France.
- ✓ FAO-LEAD, 2006. Livestock's Long Shadow.
- ✓ GraphAgri, 2012. Structures et moyens de production agricoles. Disponible sur internet : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Gaf12p017-024.pdf> [consulté le 09/10/2015].
- ✓ Herrero M., Thornton P. K., Notenbaert A. M., Wood S., Msangi S., Freeman H. A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Rosegrant, M. (2010). Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems.
- ✓ Lemaire G., Franzluebbers A., de Faccio Carvalho P. C., Dedieu B., 2014. Integrated Crop–livestock Systems: Strategies to Achieve Synergy between Agricultural Production and Environmental Quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 190, 4–8.
- ✓ Lu H. P., Wagner H. H., Xiao-Yong C., 2007. A Contribution Diversity Approach to Evaluate Species Diversity. *Basic and Applied Ecology*, 8, 1–12.
- ✓ Masero J., 2015. Agriculture et Territoires: 17% Des exploitations en zone de montagne. Disponible sur internet : <http://www.epsilon.insee.fr/jspui/handle/1/31573> [consulté le 02/09/2015].
- ✓ Mignolet C., Schott C., M. Benoît, J.-M. Meynard. 2012. Transformations des systèmes de production et des systèmes de culture du bassin de la seine depuis les

- années 1970 : une spécialisation des territoires aux conséquences environnementales Majeures. *Innovations Agronomiques*, 22, 1-16.
- ✓ Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2013. Table de conversion des UGB alimentaires annuelles pour le calcul de l'indicateur a 10 - valorisation de l'espace. Disponible sur internet : http://www.idea.chlorofil.fr/fileadmin/documents/Outils_d_application/Calcul_UGB.xls [consulté le 07/04/2014].
 - ✓ Mischler P., Chambaut H., Alig M., 2014. Les fermes plus autonomes en alimentation qui valorisent des interactions entre culture et élevage, sont-elles plus durables sur les plans économiques et environnemental ? *Renc. Rech. Ruminants*, 21.
 - ✓ Monneveux P., and Nemmar M. 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum Aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum Durum* Desf.): étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie* 6, 583–90.
 - ✓ Moraine M., 2015. *Conception et évaluation de systèmes de production intégrant culture et élevage à l'échelle du territoire*. Thèse de doctorat, Agrosystèmes, Ecosystèmes et Environnement. Université de Toulouse, 200p.
 - ✓ Moraine M., Therond O., Leterme P., Duru M., 2012. Un cadre conceptuel pour l'intégration agroécologique de systèmes combinant culture et élevage. *Innovations Agronomiques* 22, 101-115.
 - ✓ Moraine M., Duru M., Nicholas P., Leterme P., Therond O., 2014. Farming system design for innovative crop-livestock integration in Europe. *Animal*, 8, 1204–1217.
 - ✓ Oomen G.J.M., Lantinga E.A., Goewie E.A., Van der Hoek K.W, 1998. Mixed farming systems as a way towards a more efficient use of nitrogen in European Union Agriculture. *Environmental Pollution*, 102 (1), 697–704.
 - ✓ Pagès, J., 2004. Analyse factorielle de données mixtes: principe et exemple d'application. *Montpellier SupAgro*.
 - ✓ Perrot C., Caillaud D., Chambaud H., 2011. Économies d'échelle et économies de gamme en élevage bovin laitier. Institut d'élevage.
 - ✓ Peyraud J. L., Taboada M., Delaby L., 2014. Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America: A Review. *European Journal of Agronomy* 57, 31-42.
 - ✓ Pujol, J. L., et Dron D., 1998. Agriculture, monde rural et environnement: qualité oblige. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°37.
 - ✓ Ramonteu S., Avelange I., Gibon A. 2014. Panorama des différents projets partenariaux de recherche & développement sur des thèmes liés à la polyculture-élevage. *Innovations Agronomiques* 39, 163-180.
 - ✓ Roche B., Lanoë E., Le Coeur D., Thenail C., Martel G., 2010. Diversité des systèmes de polyculture élevage et des modes d'exploitation des prairies: quelles conséquences sur la diversité végétale. *Rencontres Recherches Ruminants*.
 - ✓ Roguet C., Gaigné C., Chatellier V., Cariou S., Carlier M., Chenut R., Daniel K., Perrot C., 2015. Localisation et Dynamiques de Concentration Des Productions Animales En Europe: état Des Lieux et Facteurs Explicatifs. In *Papier Préparé Pour Le Colloque de La Société Française d'Économie Rurale «Structures D'exploitation et Exercice de L'activité Agricole: Continuités, Changements Ou Ruptures*, 12–13.
 - ✓ Ryschawy J., 2012. *Eclairer les conditions de maintien d'exploitations de polyculture-élevage durables en zone défavorisée simple européenne. Une étude de cas dans les Coteaux de Gascogne*. Thèse de doctorat, Agrosystème, Ecosystèmes et Environnement. Université de Toulouse, 221p.

- ✓ Ryschawy J., Choisis N., Choisis J. P., Joannon A., Gibon A., 2012. Mixed Crop-Livestock Systems: An Economic and Environmental-Friendly Way of Farming? *Animal*, 6 (10), 1722–30.
- ✓ Ryschawy J., Joannon A., Gibon A., 2014. L'exploitation de Polyculture-élevage : définitions et questions de recherche. Une revue. *Cah Agric*, 23, 346-356.
- ✓ Ryschawy J., Choisis N., Choisis J.P., Joannon A., Gibon A.. 2014. Quelles stratégies pour un maintien de la polyculture-élevage ? Une étude des trajectoires passées d'exploitations dans les Coteaux de Gascogne. In : P. Gasselin, J.-P. Choisis, S. Petit, F. Purseigle, and S. Zasser. *L'agriculture En Famille : Travailler, Réinventer, Transmettre*, INRA-SAD, 287-304.
- ✓ Shannon C.E., 2001. A Mathematical Theory of Communication. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 5 (1), 3–55.
- ✓ Schiere, J.B., Ibrahim M.N.M., Van Keulen H., 2002. The role of livestock for sustainability in mixed farming: criteria and scenario studies under varying resource allocation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 90, 139–153.
- ✓ Sneessens I., Benoit M., Brunschwig G. 2014. Un cadre d'analyse pour évaluer les gains d'efficience permis par les interactions culture-élevage : Une Typologie des systèmes de polyculture-élevage couplée à une quantification de l'intégration. *Innovations Agronomiques*, 39, 127-137.
- ✓ Sneessens I., 2014. *La complémentarité entre culture et élevage permet-elle d'améliorer la durabilité des systèmes de production agricole?* Thèse de doctorat, Agronomie et Environnement, Université Blaise Pascal, 170p.
- ✓ Stark F., Alexandre R., Diman C., Fanchone A., Alexandre G., Diman J. L., 2010. Intégration au sein des systèmes de type polyculture élevage en Guadeloupe: première caractérisation. *Rencontre Recherche Ruminants*, 421-424.
- ✓ Stark F., Fanchone A., 2014. Le concept d'intégration au cœur de la conception d'un pilote en polyculture élevage adapté aux exploitations agricoles de Guadeloupe. *Innovations Agronomiques*, 39, 113-124.
- ✓ Terrier M. et Pernel M., 2015. Projet elevage en zones de grandes cultures. Agrotransfert.
- ✓ Van Keulen H. et Schiere J.B., 2004. Crop-livestock systems: old wine in new bottles. Disponible sur internet : <http://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai:library.wur.nl:wurpubs%2F337607> [consulté le 02/09/2015].
- ✓ Veysset P., Lherm M., Bébin D., Roulenc M., 2014. La polyculture-élevage bovin viande : un système durable de production de viande bovine ? Résultats à l'échelle de la ferme, questions et perspectives. *Innovations Agronomiques*, 39, 83-97.
- ✓ Vilain L., 2008. La méthode IDEA : Indicateur de Développement Durable. Educagri éditions, 33-41.
- ✓ Wery J., 2012. Agronomie - Plantes cultivées et systèmes de culture. *Agropolis International*, 12, 68p. <http://www.agropolis.fr/pdf/publications/dossier-agronomie2012.pdf> (consulté le 10/09/2015).
- ✓ Wright I. A., Tarawali S., Blümmel M., Gerard B., Teufel N., Herrero M., 2012. Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(5), 1010-1015.

Liste des figures

Figure 1 : Les points d'étapes dans le travail du stage	16
Figure 2 : les interactions entre les trois pôles des systèmes polycultures-élevage (Moraine, 2012)	17
Figure 3 : Cercle de corrélation des indicateurs de diversité niveau 1	28
Figure 4 : Cercle de corrélation des indicateurs d'intégration niveau 1	28
Figure 5 : Cercles de corrélation des indicateurs de diversité et d'intégration de niveau 3	29
Figure 6 : Représentation dans un plan factoriel des groupes suivant la diversité	31
Figure 7 : Représentation dans un plan factoriel des groupes suivant l'intégration	33
Figure 8 : Représentation dans des plans factoriels des groupes suivant la diversité et la complémentarité	35

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des indicateurs de diversité	22
Tableau 2 : Liste des indicateurs d'intégration	23
Tableau 3 : Liste des indicateurs de complémentarité spécifiques au territoire	24
Tableau 4 : Les niveaux choisis et les caractéristiques des axes	27
Tableau 5 : Les groupes issus de la classification avec des indicateurs de diversité de niveau 1	31
Tableau 6 : Les groupes issus de la classification avec des indicateurs d'intégration de niveau 1	34
Tableau 7 : Les groupes issus de la classification avec des indicateurs de diversité et d'intégration de niveau 3	34
Tableau 8 : Comparaison entre territoire et exploitation sur la valeur des indicateurs de diversité et d'intégration de niveau 1	36

Annexes

Listes des annexes

<i>Annexe I : La troisième version de la grille de caractérisation</i>	<i>47</i>
<i>Annexe II : tableau de conversion de nombre de tête d'animaux en UGB</i>	<i>56</i>
<i>Annexe III : tableau de conversion de tonne ou m3 d'effluents en unité d'azote.....</i>	<i>58</i>
<i>Annexe IV : le questionnaire d'enquête.....</i>	<i>59</i>
<i>Annexe V : Carte de présentation des îlots de la commune de Monterfil</i>	<i>61</i>
<i>Annexe VI : Tableau d'exemple de calcul des variables de la méthode Lu et al. (2007).....</i>	<i>62</i>
<i>Annexe VII : les différents types d'intégrations selon Bell et Moore (2012) (adaptée par Sneessens, 2014).....</i>	<i>63</i>
<i>Annexe VIII : Système simple et système complexe (Rufino et al., 2009, Stark,2015).....</i>	<i>63</i>

Annexe I : La troisième version de la grille de caractérisation

	indicateurs	Niveau hiérarchique	Arguments	Quantification
INDICATEURS DE DIVERSITE	type d'élevage	1	Plus il y a de diversité de type d'élevage plus les ressources sont valorisées. En effet, tous les animaux d'élevage n'utilisent pas les mêmes ressources végétales. De ce fait le seul moyen de valoriser au maximum les produits, les sous-produits et les résidus de toutes les cultures d'une EA est d'avoir une diversité élevée en termes de "type d'élevage".	Dans l'ensemble des animaux d'élevage, on compte 1 point pour le nombre d'espèce au-dessus de 1 ($x-1*1$), et on ajoute 0,5 point pour le nombre de production supérieur à 1 ($x-1*0,5$), et pour la diversité au-delà de espèce/production on ajoute 0,5 point pour chaque ($x-1*0,5$).
	race des animaux	1	La diversité des races (pure ou en croisement) est un indicateur d'une diversité de façon de produire (avec pour hypothèse que chaque race est présente pour des raisons spécifiques)	Les ateliers d'élevage utilisant des races croisées à n voies sont considérés comme étant aussi diversifiés que les ateliers d'élevage n. Dans ce cas, la diversité est égale à n-1. La diversité de l'EA est la somme de la diversité de tous les ateliers d'élevage.
	plantes cultivées	1	le préfixe poly- dans PCE indique que ces systèmes se caractérisent par la diversité des cultures, mais cette diversité ne se limite pas au choix des espèces végétales à cultiver.	1 espèce-1variété correspond à une diversité = 0. 2 espèces correspond à une diversité= 1. 1 espèces avec 2 variétés correspond à une diversité = 0,5. c'est-à-dire 0,5 point pour chaque variété au-dessus de 1 et 1 point pour chaque espèces au-dessus de 1.
	groupe botanique	2	Chaque groupe botanique a un usage privilégié différent (ex : les protéagineux sont surtout utilisés pour l'alimentation des monogastriques et les prairies sont destinées aux ruminants). Une diversité de groupe botanique est donc un indicateur d'une diversité d'objectifs pour l'atelier culture de l'exploitation.	Il n'y a pas de diversité si un seul groupe est présent dans l'exploitation. Ainsi la diversité est exprimée en nombre de groupe auquel appartient les plantes cultivés moins 1. Et on ajoute de bonus pour les espèces végétales qui appartiennent à plus d'un groupe : +0,5 si elle appartient à 2 groupes, +1 si c'est 3, +1,5 si 4, +2 si 5 groupes.

	% prairie sans légumineuse/prairie totale	2	La mise en place de légumineuses dans les prairies est le signe potentiel d'un usage diversifié des prairies.	Avoir des classes de % obtenus est intéressant pour faciliter l'interprétation. Le choix porte ici de les mettre en 3 classes 0 à 25%; entre 25 et 50% et valeurs supérieur à 50%. On suppose que les EA se trouvant dans la classe de moins de 25% sont plus diversifiés en espèces végétales.
	% des prairies multi-espèces/prairies avec légumineuses	2	La prairie est, au contraire des autres cultures, très variable en composition (depuis la graminée pure, jusqu'à la prairie naturelle de montagne où l'on peut recenser plus de 80 espèces dans la parcelle). Cet indicateur essaye de caractériser la diversité intra prairial	Les % sont mis en 4 classes: inférieur à 25%, entre 25 et 50%, entre 50% et 75%, et supérieur à 75%.
	Dispersion des îlots	3	L'organisation du parcellaire des exploitations est un facteur important dans les décisions d'assolement. Un parcellaire dispersé entrainera des usages différents sur les différents blocs de parcelles.	l'indice de dispersion des couverts estime l'éparpillement des îlots d'une exploitation autour du siège de l'exploitation, en prenant en compte la taille de l'îlot (DRAAF/SRISET, 2012). Indice (Km) = $\sum [\text{distance entre îlot (i) et siège de l'EA} / \text{surface de l'îlot (i)}] / \sum [1/\text{surface îlot(i)}]$
	Assolement	1	plus la proportion de chacun des couverts est faible plus la diversité est élevée, dans ce sens l'assolement est un indicateur de diversité. Il vient pondérer l'indicateur plantes cultivées	La diversité se mesure par le nombre de soles dont la part est compris entre 5% et 50%. On considère qu'un couvert qui a un part inférieur à 5% est trop petit pour être considéré et d'au contraire un couvert à plus de 50% de proportion contribue à la spécialisation de la production.
	Rotation	2	La rotation indique la diversité dans le temps des pratiques culturales et des activités effectuées sur les parcelles. Le nombre de rotations différentes est aussi un indicateur de la variabilité possible dans l'exploitation	moyennes des durées de toutes les rotations, nombre de rotations dans l'EA
	produits agricoles vendus	2	Ce critère permet de prendre en compte les différentes sources de revenus agricoles de l'exploitation, les exploitations de PCE pouvant être très différentes sur ce critère, il semble important de	l'élevage cache les produits agricoles autoconsommés d'où son poids plus élevé dans la contribution à la diversité des produits agricoles vendus. Ainsi, les produits d'élevage représentent

			le prendre en compte dans notre caractérisation	chacun 2 points tandis que les produits de cultures vendus correspond chacun à 1,5 points.
	types de transformation	2	C'est la transformation qui détermine la variété et la quantité disponible de sous-produits (utilisables dans les autres ateliers) et la diversité de produits transformés à la ferme.	les EA qui ne transforme pas à la ferme ont une diversité 0; chaque unité de transformation compte 1 point, les sous-produits issues de la transformation sont compté 0,5 point chacun. En effet, lait→ produit de la fromagerie = fromage, sous-produit = petit lait, ce qui correspond à 1+0,5. Viande→produit de la charcuterie : pâté, saucisson; diversité=2.
	autres valorisations	2	la diversité de source de revenus dépend également des activités ou des produits autres qu'agricoles mais qui s'effectuent à la ferme.	nombre des autres produits vendus
	mode d'alimentation avec les aliments produits à la ferme	3	Ici on cherche à obtenir la diversité des façons d'alimenter son troupeau (notamment bovin lait).	le nombre de type d'alimentation-1
	Indice de Shannon	1	Cet indicateur est largement utilisé dans la littérature pour exprimer la diversité (en écologie et en économie). Il intègre l'abondance (la taille des parcelles, l'effectif des animaux).	% de diversité des ateliers de l'exploitation
INDICATEURS DE	Part des surfaces dédiées à l'alimentation animale	1	plus une EA alloue de terre pour animaux plus l'intégration par rapport à l'alimentation est forte	<25%, 25-50%, 50-75%, et supérieure à 75%.
	% de la prairie temporaire dans la SAU	3	la proportion de la prairie temporaire en termes de surface détermine l'importance donnée à la rotation prairie/culture, qui est un indicateur d'intégration temporel.	<25%, 25-50%, 50-75%, et supérieure à 75%.

	part de pâturage dans l'alimentation animale	2	au moment du pâturage, la culture et l'élevage partage le même espace (synchrone). Il y a à la fois un flux de culture vers les animaux par le prélèvement de fourrage et un flux des animaux vers le sol des cultures qui correspond aux déjections déposées au sol lors du pâturage.	durée de pâturage/(durée de pâturage+ durée alimentation à l'auge)
	pâturage mixte entre espèces animales différents	3	Le pâturage mixte permet de mieux valoriser les ressources et donc assure une plus grande intégration, complémentarité entre atelier d'élevage. Dans certain cas, le but du pâturage mixte est de mieux lutter contre les parasites en favorisant la rupture de leur cycle de développement.	nombre d'espèces pâturant ensemble + 0,5 point s'il y a de la rotation de pâturage entre espèces différents
	part de prairie fauchée par rapport à la SAU dédié à l'alimentation animale	2	Le fauchage est une forme d'intégration, mais par rapport au pâturage, l'échange culture-élevage se fait dans un seul sens. Ce critère permet de distinguer des formes de polyculture élevage dont l'intégration passe par le pâturage de systèmes passant par la fauche et de ceux passant par l'utilisation des cultures.	<25%, 25-50%, 50-75%, et supérieure à 75%.
	part des céréales produit utilisé sur l'exploitation	3	La valorisation des grains de céréales produits sur l'exploitation marque une intégration culture-élevage.	% céréales produits et valorisés/céréale produits: <25%, 25-50%, 50-75%, et supérieure à 75%.
	Mise en place d'inter-culture pour l'alimentation animale	2	les intercultures utilisées pour l'alimentation animale dénotent d'une volonté d'intégrer culture et élevage. L'importance de ces intercultures est variable entre les exploitations.	% surface où se fait l'interculture pour l'alimentation animale/SAU : <25%, 25-50%, 50-75%, et supérieure à 75%.
	autonomie alimentaire	1	indicateur qui couvre l'intégration par rapport à l'alimentation des animaux en général.	Pour faciliter l'interprétation, il serait nécessaire de classer ces % d'autonomie en 4 : <25%, 25-50%, 50-75%, et supérieure à 75%.

autonomie en concentré	2	indicateur qui concerne notamment les EA qui fabriquent des aliments à la ferme. Il permet de voir jusqu'à quel point la production de concentré suffit.	classer les % concentré produit/besoin en concentré : <25%, 25-50%, 50-75%, et supérieure à 75%.
autonomie en fourrage	2	Etant donné que la gestion de fourrage est une question clé dans les exploitations d'élevage d'herbivores, cet indicateur permet de discriminer les fermes d'élevage de ruminants entre eux.	classer les % fourrages produits/besoin en fourrages : <25%, 25-50%, 50-75%, et supérieure à 75%.
autonomie en paille	2	indicateur assez général sur la production et la valorisation de la paille.	à un taux inférieur à 100%, l'éleveur est obligé d'acheter de la paille, un taux supérieur à 100% veut dire que l'exploitant produit plus de paille qu'il en a besoin pour ses troupeau (le reste est soit vendus) : l'intégration est très forte. Inférieur à 50% : l'intégration est faible puisque l'exploitant n'arrive pas à satisfaire la moitié de ses besoin en paille.
intra-consommation de résidus de culture	3	Il y a différents types de résidus de culture (paille, repousse, chaume,...), et leur utilisation comme aliments de bétail est une forme d'intégration.	% de résidus de culture produits par rapport aux résidus de cultures autoconsommé. S'il est inférieur à 5%, on peut dire qu'il n'y a pas de consommation, si 5-15% la consommation est faible, 15-25% consommation moyenne, au-delà de 25% consommation élevé
part des sous-produits de transformation à la ferme dans l'alimentation des animaux	2	Les sous-produits de transformation ont de plus faible valeur commerciale que le produit transformé, ce qui fait qu'ils sont généralement recyclés sur place.	Classer les % en 3: inférieur à 25%, 25-50% et supérieur à 50%
le choix de la race dans la valorisation des ressources de l'exploitation	3	La race d'animaux est souvent liée au type de ressources disponibles ou à la manière de valoriser celui-ci. De ce fait, les éleveurs qui décide de basculer vers des systèmes tout herbe ont souvent recourt au changement de race ou croisement.	Evaluer la cohérence de l'exploitant sur le choix de la race en donnant un note de : +2, +1, 0, -1, -2. Par exemple si plusieurs races sont présentes dans un atelier d'élevage et qu'ils sont conduits de la même façon, c'est que l'éleveur ne tient pas du tout compte de la performance de chaque race dans la valorisation des ressources, on lui attribue une

			note de -2 pour cet atelier. Si seulement la moitié des individus sont d'une race destinées à s'adapter aux ressources de l'exploitation, la note est de 0.
Orientation des travailleurs	2	Les travailleurs peuvent être spécialisés ou travailler à la fois sur la partie élevage et la partie culture. C'est un critère qui permet de regarder si les intégrations se font aussi à l'échelle du travail.	Le nombre de travailleur qui sont impliqués à la fois dans les travaux de champs et d'élevage.
Matériel agricole utilisé à la fois pour les activités de culture et d'élevage	2	L'idée de ce critère est de prendre en compte l'investissement matériel commun aux deux types d'ateliers (tracteur utilisé en été pour les remorques et en hiver pour l'alimentation des animaux par exemple)	moyenne du nombre d'usage pour chaque matériel
effectif d'animaux par unité de SAU	1	Il s'agit du niveau d'extensification (Sneessens, 2015). Les hypothèses sont qu'un faible UGB/ha ne permet pas d'assurer une bonne complémentarité élevage culture et qu'un trop fort niveau d'UGB/ha font que l'autonomie alimentaire sera compliquée à atteindre (et qu'il y aura des excédents d'effluent)	l'effectif de tous les espèces animale est convertit en UGB et la SAU en ha pour calculer le nombre d'UGB/ha. Plus la valeur obtenus est élevé plus le système est intégré.
épandage des effluents sur les cultures de l'EA	2	L'épandage marque une intégration culture-élevage par la restitution des éléments au sol notamment quand il n'y a pas de pâturage.	tonne de fumier ou de lisier/ha/an
% N organique produit/azote total	2	L'importance de ce que représente la quantité d'azote apportée par les fertilisants organiques produits par rapport à l'apport en engrais azoté total. (autonomie de fertilisation)	% N organique/azote totale classé en : moins de 25% (faiblement intégré), entre 25 et 50% (moyennement intégré), et supérieur à 50% (très intégré).
mélange des effluents des différentes espèces	3	Ce critère peut être vu de deux façons : soit comme un critère d'intégration entre les ateliers animaux, soit comme un critère d'intégration culture élevage. Dans le premier cas, le mélange des effluents augmente l'intégration. Dans le second il faut regarder la motivation de l'éleveur : le mélange ou la	% d'animaux dont les effluents sont mélangés; % de cultures qui profitent du mélange, l'objectif de l'éleveur (amélioration de la fertilité/structure du sole VS autres). À 0 % il n'y pas d'intégration, Inférieur à 25% on donne une note de 1, entre 25% et 50% on donne une note de 2, au-delà de 50%

			séparation des effluents est-elle motivée par des aspects agronomiques ?	l'intégration est de 3. Et si l'intention de l'éleveur est de contribuer à la complémentarité des effluents, on ajoute 0,5 point de bonus.
INDICATEURS DE COMPLÉMENTARITÉ SPÉCIFIQUES AU TERRITOIRE	part de la diversité liée à la diversité du territoire	1	cet indicateur permet de voir si la diversité du territoire vient de la diversité interne des EA (α_{Sk}) ou plutôt de la diversité entre les EA (β_{Sk}).	β_{Sk}/γ_{Sk} : pour une valeur supérieure à 50%, la diversité du territoire est surtout due à la diversité entre EA.
	ecart à la moyenne de la contribution propre des EA	2	A la suite de l'application de la méthode Lu et al. (2007), cet indicateur permet de voir si la diversité totale est bien répartie entre les EA ou au contraire concentrée au niveau d'un petit nombre d'exploitations.	$\sigma(\gamma_{Sk})$
	Unité de gestion collective (méthaniseur, déshydratation, fabrique d'aliments)	2	L'intégration inter-exploitation par rapport à la consommation d'intrant de type travail et structure (bâtiment, matériels, équipement) s'observe au niveau des unités de gestion collective.	somme du nombre d'éleveurs attachés à chaque unité de gestion collective.
	nombre de plan d'épandage ayant recourt à EA extérieurs	2	Le plan d'épandage permet de montrer de façon synthétique l'emplacement de différentes parcelles concernées par l'épandage d'une exploitation. Et il y a complémentarité lorsque celui-ci comprend des parcelles d'une autre EA.	Le nombre de cas où il y a épandage sur un terrain d'une autre EA.
	quantité de flux échangés entre nœuds	2	plus il y a de recyclage interne au niveau du territoire plus l'intégration et la complémentarité est élevée (Rufino <i>et al.</i> , 2009).	nombre de flux interne (Fij)
	pâturage de PP sur une autre EA	2	Les EA qui voient leur pâturage se dégrader du fait de la sous-exploitation (faible effectif d'herbivores) peuvent avoir recourt aux animaux des autres fermes pour entretenir et valoriser leur surface de PP.	durée (en nombre de jour) PP chez une autre EA / 365jours

mise sur le marché des effluents d'élevage après compostage/ méthanisation	2	La présence sur le marché des effluents d'élevage venant du territoire (après traitement) fait qu'ils sont disponibles à toutes les EA, facilitant ainsi l'intégration entre elles.	le nombre des différents types d'effluents sous formes commerciales, issues des EA du territoire.
échange paille contre fumier	2	C'est une opération courante entre deux exploitations non éloignées dont l'un fait un excédent de paille (orienté à la production végétale) et l'autre ne possédant pas suffisamment d'espace pour écouler tous ces effluents (élevage hors soles).	le nombre de cas échange paille-fumier dans le territoire.
% effluents produits sur le territoire valorisé sur le territoire	2	Cet indicateur permet d'évaluer la capacité d'un territoire à disposer de terre cultivable pour l'épandage de ses effluents d'élevage.	[somme des valeurs de la quantité des effluents produit sur le territoire - les effluents sortants du territoire (sous forme de lisier/fumier, digestat de méthanisation,...)]/quantité produite. Plus le % est élevé, moins le territoire exporte des effluents vers l'extérieur, donc plus l'intégration est forte.
matériel en copropriété	3	L'existence de matériel en copropriété illustre sous la coopération ou la relation sociale entre EA d'un territoire, qui ne se limite pas en générale sur l'aspect matériel agricole.	
nombre d'échange de parcelles	3	l'échange de parcelles facilite les rotations, réduit les transports, assure une plus grande répartition des effluents en raison de la distance plus courte entre milieu de culture et le bâtiment d'élevage.	le nombre d'exploitant ayant recouru à l'échange parcellaire.
consommation d'aliments TAF (travail à façon)	3	le TAF favorise le transfert d'aliment vers le façonneur, et la quantité d'effluents produit par ce dernier augmente obligatoirement.	valeur brute (complémentarité=0 s'il n'existe pas sur le territoire)
nombre d'ETA et de CUMA	2	La complémentarité en termes de travail et de matériel se font généralement à travers les ETA et les CUMA. Elle est ici prise en compte car les ETA et les CUMA peuvent intervenir dans les processus de production d'aliments (culture, récolte) et l'épandage des effluents.	nombre d'ETA et de CUMA sur le territoire

	mise en œuvre de structures d'échange (institutionnalisées)	3	Selon les territoires les échanges entre agriculteurs peuvent se faire de façon directe ou par le biais de structure d'échange mise en place de façon concertée par les acteurs du territoire	le nombre de différentes structures d'échange présent sur le territoire.
	incitation politique	3	Certaines possibilités d'échange, de complémentarité sont-elles incité par les communes (a travers le SCOT ou des primes ou autres...)	présence (1)/absences (0)

Annexe II : tableau de conversion de nombre de tête d'animaux en UGB

Bovins race laitière			
	Coef UGB	Nb Animaux	UGB
Vaches laitières	1.00		0.00
Génisses - 1 an	0.30		0.00
Génisses 1 à 2 ans	0.60		0.00
Génisses + 2 ans	0.80		0.00
Génisses -1 an vêlage précoce	0.30		0.00
Génisses 1-2ans vêlage précoce	0.75		0.00
Taureaux reproducteurs	1.00		0.00
Boeufs -1 an	0.30		0.00
Boeufs 1-2 ans	0.60		0.00
Boeufs + 2 ans	0.80		0.00
Jeunes bovins -1 an	0.30		0.00
Jeunes bovins 1-2 ans	0.75		0.00
Total		0.00	0.00

Bovins race à viande			
	Coef UGB	Nb Animaux	UGB
Vaches allaitantes	0.85		0.00
Vaches finition	1.10		0.00
Veaux femelles avant sevrage	0.20		0.00
Veaux sous la mère femelles	0.20		0.00
Veaux Aveyron	0.40		0.00
Veaux mâles avant sevrage	0.20		0.00
Génisses - 1 an	0.40		0.00
Génisses 1-2 ans	0.60		0.00
Génisses + 2 ans	0.80		0.00
Génisses 24-28 mois finition	0.90		0.00
Génisses 30-36 mois finition	0.95		0.00
Mâles - 1 an	0.45		0.00
Mâles 1-2 ans	0.60		0.00
Mâles 2-3 ans	0.80		0.00
Mâles + 3 ans	1.00		0.00
Taureaux reproducteurs	1.00		0.00
Taureaux finition	1.20		0.00
Boeufs -1 an	0.45		0.00
Boeufs 1-2 ans	0.60		0.00
Boeufs 2-3 ans	0.80		0.00
Boeufs + 3 ans	1.00		0.00
Boeufs 24-36 mois en finition	1.00		0.00
Total		0.00	0.00

Porcs, truies, lapines			
	Coef UGB	Nb Animaux	UGB
Truies mères (réforme exclue)	0.31000		0.00
jeunes truies de 50kg et plus destinées à la reproduction (cochettes)	0.14000		0.00
porcelets (yc post-sevrage)	0.05500		0.00
autres porcs (engraissement, verrats, réforme)	0.26000		0.00
lapines mères	0.11500		0.00
Total		0.00	0.00

Volailles				
	Coef UGB	Nbre animaux	temps de présence annuel (%)	UGB
poules pondeuses d'œufs de consommation	0.0096			0.00
poules pondeuses d'œufs à couver	0.0096			0.00
poulettes	0.0090			0.00
poulets de chair et coqs	0.0080			0.00
dindes et dindons	0.01			0.00
oies (à rôtir, à gaver)	0.02			0.00
canards à rôtir	0.0131			0.00
canards en gavage, à gaver	0.0152			0.00
pintades	0.0055			0.00
pigeons et cailles	0.0027			0.00

Source : **Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2013**

Annexe III : tableau de conversion de tonne ou m³ d'effluents en unité d'azote

Effluents et espèces animales	Unité d'azote/t ou m³
Lisier de bovin	4
Fumier bovin	5,5
Fumier bovin très compact (litière accumulée)	6
Fumier bovin compact (étable entravée, pentes paillées, logettes paillées)	5
Fumier bovin mou (pentres paillées et logettes paillées avec peu de paille)	4,5
Lisier de veaux	2,86
Lisier de porc	5
Fumier de porc	4,1
Lisier poules pondeuses	6,8
Fientes sèches poules pondeuses	20
Fumier volailles de chair	29
Lisier de Canard	6,3
Fumier canard	5
Lisier de lapin	9
Lisier d'ovins	7,7
Fumier d'ovins	10,8
Purin pur de bovin (étable entravée ou lixiviat avec pluviométrie faible)	3
Lixiviat et/ou purin	0,4
Compost de fumier de bovin litière accumulée	8

Source : **Chambre Régionale d'Agriculture du Limousin**, http://www.herbe-fourrages-limousin.fr/fileadmin/documents/doc_pascaline/Valeur_fertilisante_des_effluents_elevage.pdf (consulté le 29/06/2015)

Annexe IV : le questionnaire d'enquête

1. Par rapport à la surface

- La SAU
- L'acquisition du foncier (héritage, achat, location, échange,...).
- L'emplacement du siège d'exploitation et la structure du parcellaire (RPG)
- Les différents couverts pendant une année et les surfaces respectives qu'ils occupent.
- Taille des parcelles
- Zone de culture : y a t il des parcelles spécifiques pour la production d'herbe pâturée / de fourrages / de céréales intra-consommés/ de céréales de vente ?

2. Végétation

- Les espèces et le nombre de variétés des plantes cultivées. La surface implantée de chaque espèce.
- La composition des prairies semées.
- L'ordre de succession des couverts, leurs durées respectives.
- La destination des couverts.
- Les quantités récoltées.
- La part des récoltes qui sont à destination des animaux
- Les différents types d'intercultures, leurs fonctions, et la surface implantée.
- La quantité d'engrais de synthèse utilisée sur l'EA, le % d'N des engrais minéraux.
- L'azote total (minéral + organique) visé par culture

3. Aliments du bétail

- Les aliments consommés durant les différentes périodes de l'année : début printemps, ...fin de l'hiver
- La conduite du pâturage : Quand? Où? Avec quels groupes d'animaux (espèce/race/stade)?
- La quantité consommée et la quantité produite sur chaque type d'aliment. (quels sont les achats d'aliments sur l'exploitation?)
- L'existence ou non de la fabrication d'aliments à la ferme ; Si oui :
- l'origine des matières premières (part achetée et part intra consommée),
- la composition de l'aliment fabriqué (les principales),
- la quantité (annuelle) de concentré utilisée sur place (et la part qui est intra consommée).

4. Animaux

- Les différents ateliers d'élevage, la production principale de chaque atelier, la taille de chaque atelier (exprimé en nombre de tête, en ugb, en surface, ou autres).
- Les différentes races des animaux et/ou les races entrant dans le croisement.
- La raison du choix de la race (la conduite des animaux est elle liée aux races présents ?, quels changements de pratiques d'élevage suite à un changement de race ?).
- Quel logement des animaux ? Autonomie en paille ?

5. Effluents

- Les types d'effluents produits (fumier/lisier/boue/résidus de méthanisation/eaux vertes...) et leurs utilisations,
- Si plusieurs ateliers animaux : y a-t-il mélange des effluents ? Si non, les effluents ont-ils des utilisations différentes ?
- L'autosuffisance pour l'épandage. Le plan d'épandage inclut-il des parcelles d'une autre exploitation (sur la commune?)?
- Les aménagements facilitant l'épandage.
- Le % d'azote contenus dans les effluents (si connu).

6. Matériels

- Y-a-t-il du matériel servant à la fois aux cultures et aux animaux ? Si oui, combien ? Y a-t-il une mise en commun (CUMA) ou une délégation du travail sur les animaux/les cultures ? Si oui, dans la commune ?

7. Travail

- Le nombre de travailleur permanent.
- Pour chaque travailleur, quel est le temps passé dans les cultures et celui dans les ateliers d'élevage ?
- Comment sont organisés les week-ends ?

8. Transformation

- Les unités de transformations, les produits de transformations, les sous-produits de transformations (abattoir, fromagerie, pressoir à huile...)

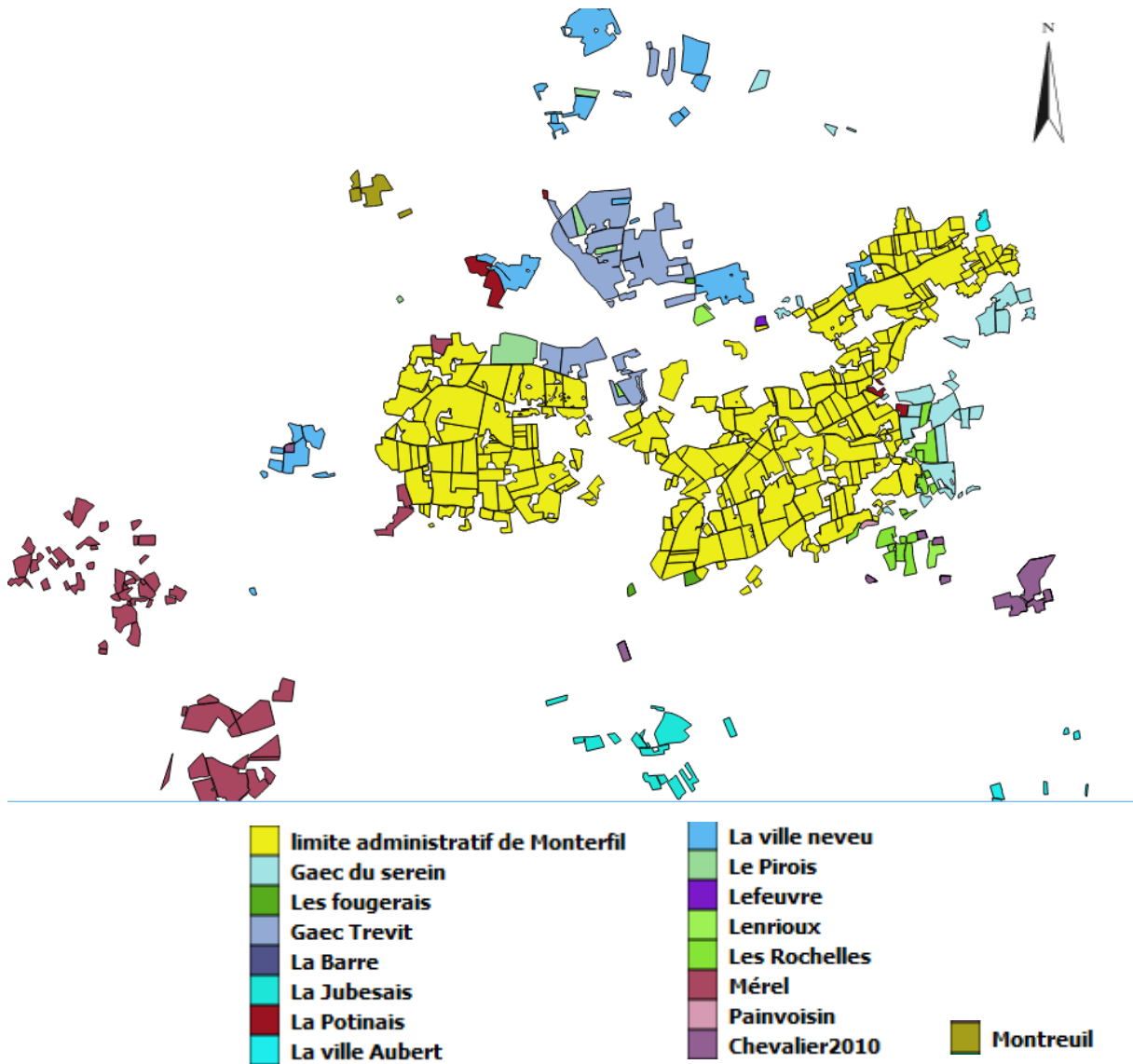
9. Récapitulatif : Relation avec l'extérieur

- les intrants (et leurs provenances)
- La destination des produits et sous-produits exportés (output de l'EA). (quelles sont les acheteurs ?)
- Les échanges bilatéraux de matières (aliments et/ou fertilisants) avec les autres EA.

10. Autres

- les activités des exploitants en dehors des activités de production agricole,
- les aménagements n'entrant pas dans la production animale et végétale (locaux d'accueil de visiteurs/touristes, éolienne, photovoltaïque, méthaniseur, ...).
- Echanges avec des entreprises agroalimentaires et coopératives actives
- l'implication dans une unité de gestion collective présente sur le territoire.
- les formes de fertilisants organiques importés et/ou exportés
- Les ETA
- L'implication dans des structures d'échange

Annexe V : Carte de présentation des îlots de la commune de Monterfil



Echelle : 1/84625

Source : RPG 2010 ; RPG 2010

Annexe VI : Tableau d'exemple de calcul des variables de la méthode Lu *et al.* (2007)

Taille des ateliers de culture

	colza	blé	orge	prairie	total
Ferme 1	3	3	4	50	60
Ferme 2	10	10	10	30	60
Ferme 3	0	40	0	20	60
Ferme 4	0	0	60	0	60
total	13	53	74	100	240

Présence (1) et absences (0) des ateliers

	colza	blé	orge	prairie	total
Ferme 1	1	1	1	1	4
Ferme 2	1	1	1	1	4
Ferme 3	0	1	0	1	2
Ferme 4	0	0	1	0	1
Total (n)	2	3	3	3	

	colza	blé	orge	prairie	S_k	αS_k	βS_k	γS_k
Ferme 1	0,46	0,17	0,16	1,50	2,29	0,57	0,34	0,92
Ferme 2	1,54	0,57	0,41	0,90	3,41	0,85	0,62	1,47
Ferme 3	0,00	2,26	0,00	0,60	2,86	0,72	0,36	1,07
Ferme 4	0,00	0,00	2,43	0,00	2,43	0,61	0,30	0,91
n_i	2	3	3	3	4,38	1,09	1,63	4,38
n	4							

n_i : nombre d'exploitation agricole où l'atelier est présent

n : nombre d'exploitation agricole du territoire

Annexe VII : les différents types d'intégrations selon Bell et Moore (2012) (adaptée par Sneessens, 2014)

	Structure	Organisation spatiale	Organisation temporelle	Niveau d'intégration	Pratiques
Exploitation agricole	Diversifiée (> 1 atelier)	Associés	Synchrones	1	Pâturage
			Asynchrone	2	Rotation
	Spécialisée (< 1 atelier)	Dissociés		3	Fauche, épandage
				4	

Annexe VIII : Système simple et système complexe (Rufino et al., 2009, Stark, 2015)

